Endbericht

Energiekonzept Heilig-Kreuz-Areal

Untersuchung geeigneter Wärmeversorgungsvarianten

ergänzte Fassung

Kom.-Nr.: V-SWMZ-004/005

Auftraggeber: Stadtwerke Mainz AG
Rheinallee 41

55118 Mainz

STADTWERKE MAINZ AG

Auftragnehmer: GEF Ingenieur AG
Ferdinand-Porsche-Str. 4a

69181 Leimen

GEF Ingenieur AG

Leimen, 05.08.2016

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS III

TABELLENVERZEICHNIS IV

ABKÜRZUNGSSVERZEICHNIS V

1. Hintergrund und Aufgabenstellung 1

2. Analyse des Untersuchungsgebiets 2

3. Zukünftiger Wärmebedarf Heilig-Kreuz-Areal 4

3.1 Grundlagen der Wärmebedarfsabschätzung 5

3.1.1 Wohngebäude und Gebäude mit wohnähnlicher Nutzung 6

3.1.2 Gewerblich genutzte Gebäude 8

3.2 Ergebnis Wärmebedarfsabschätzung 8

3.3 Anmerkungen zum Gebäudestandard und Berechnungsverfahren 8

4. Wärmeversorgungskonzept 9

4.1 Gesamtwärmebedarf je Variante und Bilanzgrenze 10

4.2 Technische Konzeption Wärmeversorgung 10

4.2.1 Netzentwurf 10

4.2.2 Lastgänge und Erzeugereinsatzreihenfolge 11

4.3 Wirtschaftliche Bewertung der Wärmeversorgungsvarianten 13

4.4 Ökologische Bewertung 17

4.4.1 Primärenergiefaktor 17

4.4.2 Treibhausgase – CO_{2e}-Emissionen 18

4.4.3 Luftschadstoffe – direkte Staub-Emissionen 19

4.5 Konzeptionelle Vorarbeiten im Rahmen des Wärmemasterplans 19

4.6 Wärmepumpen 25

4.7 Kalte Fernwärme 28

4.8 Übersicht Fördermöglichkeiten 31

5. Zusammenfassung und Fazit 34

6. Literaturverzeichnis 36

7. Anhang 38

7.1 Berechnungsgrundlagen Wärmebedarfsabschätzung 38

7.2 Jahresdauerlinien 40
7.3 Erzeugereinsatzreihenfolgen 41
7.4 Berechnung der Firma Solvis 43

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Luftbild und Bebauungsplan Heilig-Kreuz-Areal 2
Abbildung 2: Untersuchungsgebiet mit Bauabschnitten 3
Abbildung 3: Bilanzgrenze der Wärmebedarfsabschätzung Heilig-Kreuz-Areal 5
Abbildung 4: Bilanzgrenzen der Wärmeversorgung eines Gebäudes 7
Abbildung 5: Entwurf Netzverlauf Variante A,B und C 11
Abbildung 6: Wärmeaufbringung der Varianten 13
Abbildung 7: Spezifische Wärmekosten der Varianten 16
Abbildung 8: Muster Technologiesteckbrief 23
Abbildung 9: Genehmigungsfähigkeit von Erdsonden im Raum Mainz 26
Abbildung 10: Skizze Typgebäude (Block 5.9) 27
Abbildung 11: Temperaturniveaus der Fernwärme 28
Abbildung 12: U-Werte Gebäudetyp "MFH_L" Mindestanforderungen EnEV 2016 38
Abbildung 13: U-Werte Gebäudetyp "MFH_L" Passivhausstandard 39
Abbildung 14: Jahresdauerlinie Verbundvariante BS + HKA 40
Abbildung 15: Jahresdauerlinie Heilig-Kreuz-Areal 40
Abbildung 16: Erzeugereinsatzreihenfolge Variante A 41
Abbildung 17: Erzeugereinsatzreihenfolge Variante B 41
Abbildung 18: Erzeugereinsatzreihenfolge Variante C 42

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Bruttogrundflächen nach Nutzungsart gemäß Bebauungsplan 3
Tabelle 2: Bruttogrundflächen nach Baufelder 4
Tabelle 3: Energiebezugsfläche nach Bauabschnitt 6
Tabelle 4: Energetische Kennwerte zur Wärmebedarfsabschätzung der Wohngebäude 7
Tabelle 5: Geschätzter Wärmebedarf für das Heilig-Kreuz-Areal 8
Tabelle 6: Bilanzgrenze je Variante und Analyseschritt 9
Tabelle 7: Gesamtwärmebedarf je Variante und Bilanzgrenze 10
Tabelle 8: Technische Konzeption Wärmeversorgungsvarianten 12
Tabelle 9: Parameter zur Ermittlung der kapitalgebundenen Kosten 14
Tabelle 10: Brennstoffpreise 14
Tabelle 11: Nutzungsgrade Erzeugungsanlagen 14
Tabelle 12: Parameter zur Ermittlung der betriebsgebundenen Kosten 15
Tabelle 13: Primärenergiefaktoren der Varianten 17
Tabelle 14: Spezifische CO_{2e}-Emissionen der Varianten 18
Tabelle 15: Direkte spezifische Staub-Emissionen der Varianten 19
Tabelle 16: Ergebnisse der Technologieanalyse 24
Tabelle 17: Temperaturniveaus von Wärmeanwendungen im Haushalt 28
Tabelle 18: Randbedingungen für kalte Fernwärme 30
Tabelle 19: Übersicht über Fördermöglichkeiten 31
Tabelle 20: Ergebnisübersicht der Varianten 34

ABKÜRZUNGSSVERZEICHNIS

BGF	Bruttogeschossfläche
BHKW	Blockheizkraftwerk
BKF	Bruttokollektorfläche
BS	Berliner Siedlung
EE	Erneuerbare Energien
EFH	Einfamilienhaus
EnEV	Energieeinsparverordnung
EsT	Energiesteuer
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
HAST	Hausanschlussstation
HKA	Heilig-Kreuz-Areal
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
MFH	Mehrfamilienhaus
NF	Nutzfläche
PEF	Primärenergiefaktor
WMP	Wärmemasterplan Mainz

1. Hintergrund und Aufgabenstellung

Gegenstand der vorliegenden Bearbeitung ist die Erstellung eines Energiekonzeptes für die Wärmeversorgung des Neubaugebietes Heilig-Kreuz-Areal.

Mit dem Heilig-Kreuz-Areal in Mainz-Weisenau soll in den nächsten Jahren ein attraktives Stadtviertel mit mehreren hundert Wohnungen zu erschwinglichen Preisen entstehen. Ein Großteil des ehemaligen IBM-Geländes wurde 2012 durch die Stadtwerke Mainz AG erworben. Weitere Flächen befinden sich im Besitz der Firmengruppe Richter und der Ten Brinke Projektentwicklung GmbH.

Der städtebauliche Rahmenplan sieht eine Umstrukturierung der ehemals gewerblich genutzten Flächen zu einer wohnbaulichen Nutzung vor. Aufgrund der angespannten Situation auf dem Mainzer Wohnungsmarkt soll auf dem Areal auch preisgünstiger, öffentlich geförderter Wohnraum entstehen. Durch den Erhalt einiger gewerblich genutzten Bestandsgebäude (z. B. IBM-Verwaltungsgebäude) wird es auch Bereiche mit einer Mischnutzung geben.

Durch die städtebaulichen Maßnahmen ergibt sich die Möglichkeit, die Wärmeversorgung des Areals neu zu konzipieren. Die zukünftige Wärmeversorgung soll dabei einen Beitrag zu den klimapolitischen Zielen der Stadt Mainz leisten und daher möglichst umweltschonend und nachhaltig gestaltet werden. Den umweltrelevanten Aspekten stehen die Bedürfnisse und Anforderungen des Wohnungsmarktes (Kundenseite) sowie den wirtschaftlichen Interessen von Versorger und Investoren gegenüber. Insbesondere für den sozialen Wohnungsbau sind niedrige Heizkosten ein entscheidendes Kriterium.

Es muss daher eine Versorgungslösung gefunden werden, die ökologisch verantwortlich und wirtschaftlich vertretbar ist.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden sinnvolle Varianten für die Wärmeversorgung erarbeitet und hinsichtlich technischer, wirtschaftlicher sowie ökologischer Kriterien geprüft. In einem ersten Schritt wird auf Basis des aktuellen Bebauungsplanes die geplante Bebauungsstruktur analysiert und der zu erwartende Wärmebedarf abgeschätzt. Darauf aufbauend werden die technischen Komponenten der Varianten festgelegt und im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbewertung die Wärmekosten ermittelt. Um eine ökologische Bewertung der Varianten vornehmen zu können, werden die Parameter Primärenergiefaktor, Treibhausgasemissionen (als CO_2-Äquivalent) und direkte Staub-Emissionen herangezogen.

Als mögliche Varianten werden drei zentrale und eine dezentrale Wärmeversorgungslösung untersucht:

Variante A: zentrale Versorgung, HKA im Verbund mit BS, Biomethan/ Erdgas-BHKW

Variante B: zentral Versorgung, HKA, Erdgas-BHKW

Variante C: zentrale Versorgung, HKA, Holzpelletkessel

Variante D: dezentrale Versorgung, HKA, dez. Gasbrennwertkessel + Solarthermie

In die Konzepterstellung sind in Teilen Vorarbeiten, die im Rahmen des Projektes „Wärmemasterplan Mainz“ durch die GEF erstellt wurden, eingeflossen (GEF 2015).

2. Analyse des Untersuchungsgebiets

In einem ersten Arbeitsschritt wird das Untersuchungsgebiet hinsichtlich seiner Bebauungsstruktur (Gebäudeformen, Nutzungsarten etc.) analysiert.

Grundlage der Analyse sind der Bebauungsplan W104 (Stand 09/2015) sowie die vom Auftraggeber bereitgestellte Flächenbilanz auf Basis des städtebaulichen Entwurfs (07/2015 bzw. 12/2015). Darin enthalten sind Angaben zur geplanten Nutzungsart sowie Bruttogrundflächen der Gebäude gegliedert nach Baufeld und Bauabschnitt.

Das ca. 34 Hektar große Plangebiet (davon 18 ha reine Wohnbauflächen) ist räumlich begrenzt durch die Hechtsheimer Straße in Richtung Norden und Osten, den Bretzenheimer Weg im Norden und dem Heiligkreuzweg in südliche Richtung.

Der überwiegende Teil des Areals soll vollständig umstrukturiert und mit Neubauten versehen werden. Es gibt einige wenige Bestandsgebäude, die erhalten bleiben bzw. für die eine Revitalisierung vorgesehen ist. Dazu gehören neben dem ehemaligen IBM-Verwaltungsgebäude ein Gebäude der Polizei, das Rechenzentrum sowie das Gebäude der Sensitec GmbH.

Abbildung 1: Luftbild und Bebauungsplan Heilig-Kreuz-Areal

Für die Neugestaltung des Areals sind im Bebauungsplan folgende Nutzungsarten vorgesehen (vgl. Abbildung 1):

- Allgemeine Wohngebiete (WA) – rötlich eingefärbte Flächen
- Mischgebiete (MI) – beige eingefärbte Flächen
- Sondergebiet (SO) – orange eingefärbte Flächen
- eingeschränkte gewerbliche Nutzung (GEE) – grau eingefärbte Flächen

Auf Basis der bereitgestellten Flächenbilanz wird eine Auswertung der Bruttogrundflächen nach geplanter Nutzungsart vorgenommen (vgl. Tabelle 1). Daraus wird ersichtlich, dass der Großteil der geplanten Flächen einer Wohnnutzung bzw. wohnähnlichen Nutzung zugeführt wird.

Tabelle 1: Bruttogrundflächen nach Nutzungsart gemäß Bebauungsplan

Nutzungsart gemäß B-Plan	*Bruttogrundfläche* [m²]*	*Anteil an Gesamt-Brutto-grundfläche**
Allgemeines Wohngebiet	228.200	70 %
Mischgebiet	21.500	7 %
Sondergebiet	31.300	10 %
Eingeschränkte gewerbliche Nutzung	44.400	14 %
Summe	**325.400**	**100 %**

*alle Zahlenwerte gerundet

Die Wohnbebauung setzt sich überwiegend aus Mehrfamilienhäusern mit drei bis fünf Geschossen zusammen. Die Bezeichnung „Sondergebiet" bezieht sich im Wesentlichen auf einen Gebäudeblock, der sich über die Baufelder 35, 36 und 37 erstreckt. Hier sind beispielsweise Flächen für einen Drogeriemarkt, eine Kindertagesstätte aber auch für Bereiche mit Wohnfunktion vorgesehen. In den gewerblich genutzten Bereichen sind neben Büroflächen auch ein Hotel und eine Tankstelle geplant. Die konkrete Nutzung einiger Flächen ist zum Zeitpunkt der Erarbeitung des Konzeptes noch nicht vollständig bekannt.

Gemäß der vorliegenden Flächenbilanz erfolgt die Aufsiedelung in zwei Bauabschnitten. Dies ist für die spätere Wärmebedarfsschätzung (Gebäudestandard) und die Auslegung der Erzeugungskomponenten von Bedeutung. Die grobe Einteilung der Flächen anhand der Bauabschnitte kann Abbildung 2 entnommen werden.

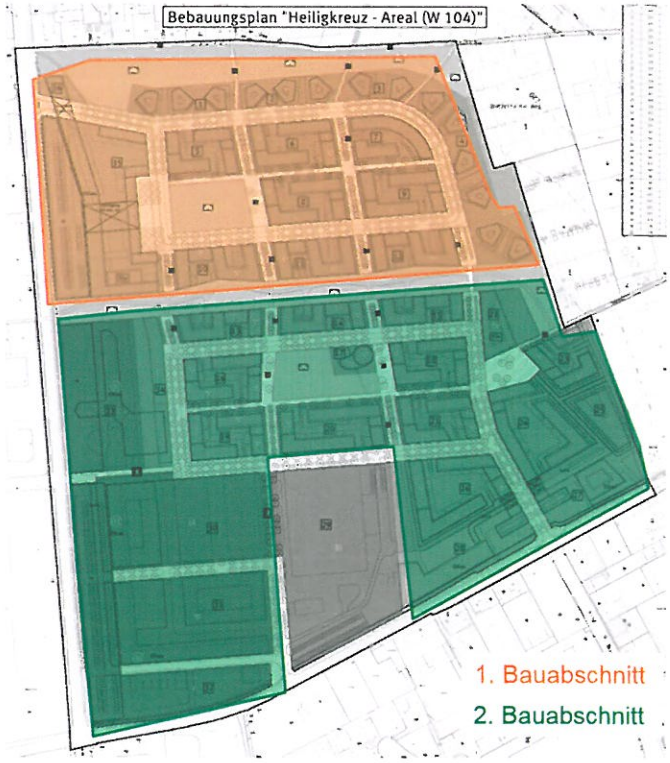


Abbildung 2: Untersuchungsgebiet mit Bauabschnitten

Für die weitere Bearbeitung, insbesondere für die Wärmebedarfsabschätzung, werden die Bruttogrundflächen aufbereitet. Hierzu werden die Flächen anhand ihrer Nutzung und den damit verbundenen Anforderungen an die Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser in Kategorien eingeteilt. In erster Linie werden Flächen mit Wohnfunktion bzw. wohnähnlicher Nutzung, reine Gewerbeflächen sowie unbeheizte Flächen gegliedert. Es wird davon ausgegangen, dass gewerblich genutzte Flächen in Bereichen mit Mischnutzung wie z. B. Büroflächen sehr ähnliche Anforderungen an den Heizbedarf stellen wie Wohngebäude. Die Flächen, die gemäß ihrer Nutzung keinen Wärmebedarf aufweisen, werden als „unbeheizt" eingestuft und für die spätere Wärmebedarfsabschätzung gefiltert. Dies sind z. B. Flächen, auf denen Garagen entstehen sollen.

In Tabelle 2 sind die Bruttogrundflächen nach Bauabschnitten gemäß der Flächenbilanz (gesamt und beheizte Flächen) dargestellt.

Tabelle 2: Bruttogrundflächen nach Baufelder

Bauabschnitt	*Bruttogrundfläche gesamt* [m²]*	*Bruttogrundfläche beheizt* [m²]*
1. Bauabschnitt	126.000	125.000
2. Bauabschnitt	199.000	177.000
Summe**	**325.500**	**302.000**

* alle Zahlenwerte gerundet

** Nicht enthalten sind Flächen der Bestandsgebäude: Baufeld 29 (Sensitec), Baufeld 33 (IBM) und die Flächen von Polizei und Rechenzentrum.

3. Zukünftiger Wärmebedarf Heilig-Kreuz-Areal

Auf Basis der städtebaulichen Analyse wird der zukünftige Wärmebedarf des Heilig-Kreuz-Areals abgeschätzt.

Die Wärmebedarfsermittlung erfolgt für alle Neubauten. Dazu wird der Wärmebedarf (für Raumheizung und Warmwasser) anhand energetischer Gebäudetypen und unter Berücksichtigung verschiedener Dämmstandards abgeschätzt. Eine Bilanzierung nach EnEV hat im Rahmen dieser Untersuchung nicht stattgefunden.

Für die Bestandsgebäude der Polizei (inkl. Rechenzentrum) und das ehemalige Verwaltungsgebäude der IBM Deutschland GmbH liegen keine detaillierten Gebäudeinformationen vor, weshalb in Abstimmung mit dem Auftraggeber ein zu erwartender Wärmeverbrauch pauschal angesetzt wird. Das Bestandsgebäude der Sensitec GmbH wird im Rahmen der Untersuchung nicht berücksichtigt. Das Gebäude wird aktuell dezentral versorgt. Die Entscheidung über eine mögliche Änderung der Versorgungsart ist zum Zeitpunkt der Konzepterstellung nicht abzusehen und wird unabhängig von der Entwicklung des Heilig-Kreuz-Areals getroffen werden.

Die Bilanzgrenze der Wärmebedarfsermittlung ist in Abbildung 3 dargestellt.

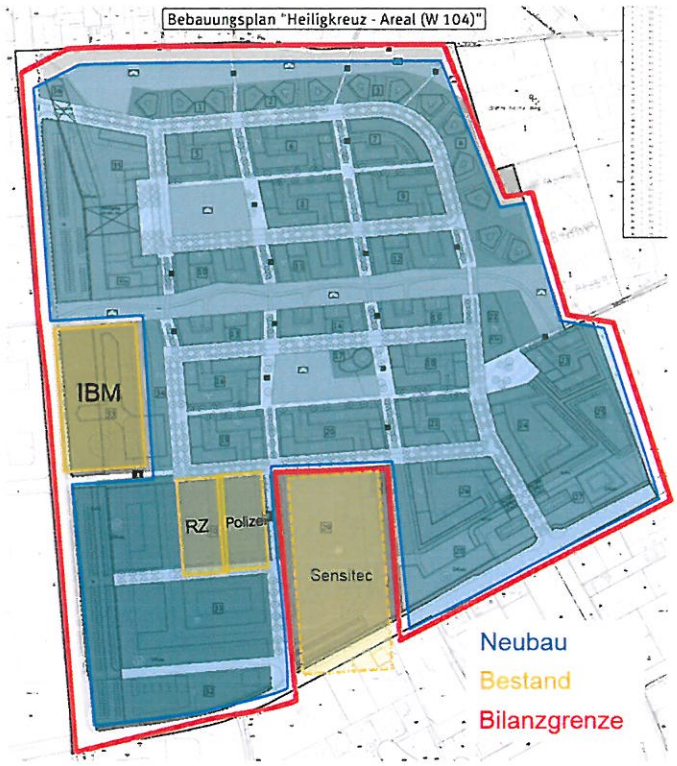


Abbildung 3: Bilanzgrenze der Wärmebedarfsabschätzung Heilig-Kreuz-Areal

3.1 Grundlagen der Wärmebedarfsabschätzung

Im folgenden Abschnitt werden die zur Wärmebedarfsabschätzung getroffenen Annahmen und Berechnungsgrundlagen für die Neubauten näher erläutert.

Die Abschätzung des zukünftigen Wärmebedarfs für Neubauten erfolgt anhand des Gebäudetyps, der die Nutzungsart und energetischen Eigenschaften des Gebäudes wiederspiegelt, sowie der dazugehörigen beheizten Fläche (Energiebezugsfläche). Die wesentlichen Berechnungsparameter sind demzufolge die Energiebezugsfläche und der spezifische Energiekennwert.

Die Energiebezugsfläche wird anhand der Flächenbilanz (vgl. Kapitel 2) abgeleitet. Aus den beheizten Bruttogrundflächen wird mithilfe eines Umrechnungsfaktors für jedes Baufeld eine Energiebezugsfläche ermittelt. Der Umrechnungsfaktor muss dabei so gewählt werden, dass der Flächenbezug der beheizten Fläche mit dem, der später eingesetzten Energiekennwerte übereinstimmt.

In der vorliegenden Flächenberechnung werden die Angaben aus der Flächenbilanz (Bruttogrundflächen) auf die Nutzfläche gemäß DIN 277 – als ausgewählte Energiebezugsfläche – umgerechnet. Entsprechende Umrechnungsfaktoren können der Literatur entnommen werden. Für Mehrfamilienhäuser wird ein Verhältnis von Nutzfläche zu Bruttogrundfläche von 0,65 angegeben (VDI 3807). Die somit ermittelte Energiebezugsfläche wird in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Energiebezugsfläche nach Bauabschnitt

Bauabschnitt	*Bruttogrundfläche beheizt* [m²]*	*Energiebezugsfläche* – (NF) [m²]*
1. Bauabschnitt	125.000	81.000
2. Bauabschnitt	177.000	115.000
Summe	**302.000**	**196.000**

*alle Zahlenwerte gerundet

Die Energiekennwerte werden in Abhängigkeit des energetischen Gebäudetyps ausgewählt. Dieser wird anhand der Gebäudenutzung (z. B. Wohnen oder Gewerbe), der Gebäudeart bei Wohngebäuden (z. B. Mehrfamilienhaus), und des geplanten Baujahrs bzw. dem Gebäudestandard bestimmt.

Die Gebäudenutzung wird in zwei Kategorien eingeteilt:

- Wohngebäude und Gebäude mit wohnähnlicher Funktion (Mischgebäude)
- Gewerblich genutzte Gebäude

Als energetischer Mindeststandard wird unter Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklungsphasen und in Abstimmung mit dem Auftraggeber folgendes angesetzt:

- EnEV 2016 für Neubauten im ersten Bauabschnitt (2017 bis 2023)
- EU-Richtlinie für Neubauten im zweiten Bauabschnitt (2023 bis 2029)

Ausgehend von den dargestellten Rahmenbedingungen werden alle Neubauten typisiert und mit einem typischen Energiekennwert versehen.

3.1.1 Wohngebäude und Gebäude mit wohnähnlicher Nutzung

Zur Abschätzung des Wärmebedarfs der Wohngebäude bzw. der Gebäude mit wohnähnlicher Nutzung wird die deutsche Gebäudetypologie des Instituts für Wohnen und Umwelt (IWU) herangezogen. Die Gebäudetypologie liefert typische Energiekennwerte für repräsentative Beispielgebäude verschiedener Größe und Altersklassen. In der zweiten Auflage (2014) wurden die Bestandsgebäude um Beispielgebäude für Neubauten erweitert.

Die darin zugrunde gelegte Berechnungssystematik wurde im Rahmen des EU-Projektes TABULA[1] entwickelt. Das TABULA-Verfahren ermittelt die Heizwärmebilanz auf Basis der europäischen Norm EN ISO 13790 (Heizperiodenverfahren).

Die Typologie stellt eine Auswahl unterschiedlicher Energieeffizienz-Niveaus für Gebäudehülle und Anlagentechnik zur Verfügung. Zur Abbildung der vorab ausgewählten Gebäudestandards wird für den 1. Bauabschnitt das Energieeffizienz-Niveau „Mindestanforderung EnEV 2016“[2] und für den 2. Bauabschnitt der Standard „Niedrigstenergiehaus (KfW Effizienzhaus 40)“ gewählt.

1 Projekt „Typology Approach for Building Stock Energy Assessment - TABULA“, (2009 – 2012) gefördert durch das EU-Programm "Intelligent Energy Europe" und die Forschungsinitiative "ZukunftBau" – www.building-typology.eu

2 Seit dem 1. Mai 2014 gilt für Gebäude die Energieeinsparverordnung (EnEV 2014). Ab dem Jahr 2016 erhöht diese Verordnung den energetischen Standard für Neubauten, sowohl für Wohn- als auch für Nichtwohngebäude. Für den 1. Bauabschnitt werden die verschärften Anforderungen ab 2016 angesetzt.

Die zur Abschätzung des Wärmebedarfs der Neubauten verwendeten Energiekennwerte basieren auf folgenden Eckdaten:

- Gebäudetyp „MFH_L“ (Mehrfamilienhaus, Baualtersklasse „ab 2016“)
- Klimazone: Frankfurt
- Bezugsfläche: beheizte Wohnfläche bzw. Nutzfläche (NF)
- Heizsystem: Gas-Zentralheizung, mittlere Energieeffizienz

Für den ausgewählten Gebäudetyp ergeben sich die in Tabelle 4 dargestellten Energiekennwerte (bezogen auf Nutzfläche).

Tabelle 4: Energetische Kennwerte zur Wärmebedarfsabschätzung der Wohngebäude

Bauabschnitt	*Gebäudestandard*		*Heizung*	*Warmwasser*	*Verteilverluste*	*Gesamt*
1. Bauabschnitt	Mindestanforderung EnEV 2016	[kWh/m²a]	58,0	16,1	10,9	85,0
2. Bauabschnitt	KfW Effizienzhaus 40/ Passivhaus	[kWh/m²a]	28,4	16,1	10,9	55,4

Die Kennwerte geben an, wie viel Energie zur Beheizung der Räume und Warmwasserbereitstellung benötigt wird[3]. Weiterhin sind Verteilverluste innerhalb des Gebäudes angenommen. Die daraus ermittelte Energiemenge entspricht dem Nutzenergiebedarf des Gebäudes wie in Abbildung 4 dargestellt.

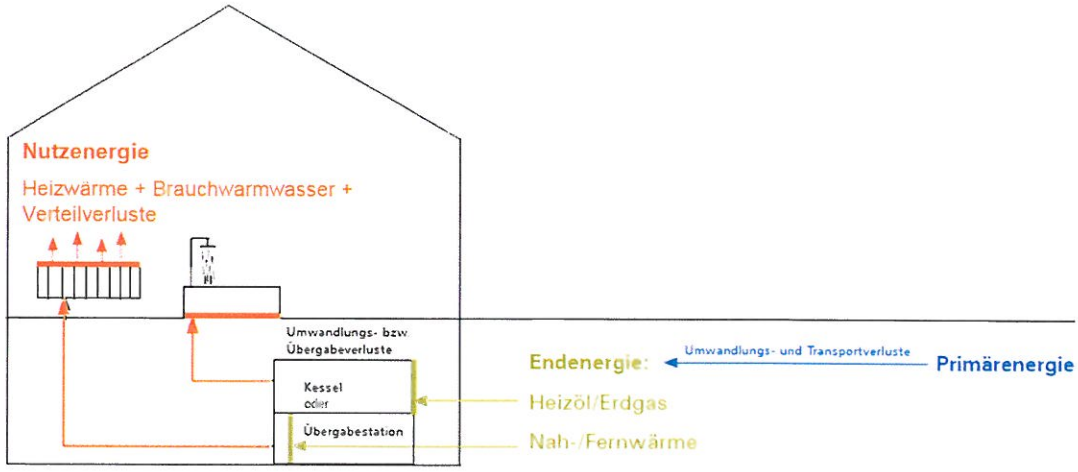


Abbildung 4: Bilanzgrenzen der Wärmeversorgung eines Gebäudes
Quelle: StMUG et al. 2011, verändert durch GEF

[3] Keine Berücksichtigung von Wärmerückgewinnung.

3.1.2 Gewerblich genutzte Gebäude

Die gewerblich genutzten Gebäude werden ebenfalls Energiekennwerte herangezogen. Im Vergleich zu Wohngebäuden ist der Wärmeverbrauch von Nichtwohngebäuden weitaus heterogener. Dies ist auf die z. T. sehr unterschiedlichen Nutzungsarten zurückzuführen. Zum Zeitpunkt der Konzepterstellung sind zudem die konkreten Nutzungsarten einiger Gewerbeflächen noch nicht bekannt. Für diese Flächen wird in Absprache mit dem Auftraggeber die Nutzungsart „Einzelhandel" angenommen. Der Leitfaden Energienutzungsplan (StMUG et al. 2011) gibt für diese Nutzungsart einen spezifischen Wärmebedarf in Höhe von 76,0 kWh/m²a an (Nutzenergie, bezogen auf Nutzfläche).

3.2 Ergebnis Wärmebedarfsabschätzung

Anhand der Energiebezugsfläche und der zugeordneten flächenspezifischen Energiekennwerte wird ein überschlägiger Wärmebedarf für die Neubauten ermittelt. Die Ergebnisse der Wärmebedarfsabschätzung sind gegliedert nach Bauabschnitt in der nachstehenden Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Geschätzter Wärmebedarf für das Heilig-Kreuz-Areal

Bauabschnitt	*Gebäudestandard*		*Wärmebedarf* (Nutzenergie)*
1. Bauabschnitt	Mindestanforderung EnEV 2016	[GWh/a]	6,9
2. Bauabschnitt	KfW Effizienzhaus 40 /Passivhaus	[GWh/a]	6,5
Bestand		[GWh/a]	1,8
Summe		[GWh/a]	**15,3**

*Heizung, Warmwasser und Verteilverluste

**(IBM, Polizei und Rechenzentrum)

3.3 Anmerkungen zum Gebäudestandard und Berechnungsverfahren

Die Anforderungen der EnEV richten sich sowohl an den Wärmeschutz als auch an die Heizungsanlage eines Gebäudes. Mit der im Jahr 2014 in Kraft getretene EnEV werden die primärenergetischen Anforderungen (max. zulässiger Jahresprimärenergiebedarf) an den Neubau ab 1. Januar 2016 nochmals um 25 % im Vergleich zu 2009 verschärft. Dadurch soll eine schrittweise Annäherung an den von der EU geforderten Niedrigstenergiestandard, der ab 2021 eingeführt wird, erreicht werden.

Der Jahresprimärenergiebedarf wird einerseits durch den Dämmstandard der Gebäudehülle, andererseits durch die Anlagentechnik und den darin eingesetzten Brennstoff bestimmt. Für den Dämmstandard gelten unabhängig von der Anlagentechnik strenge Anforderungen, die eingehalten werden müssen. Im Einzelfall besteht dennoch ein gewisser Handlungsspielraum, mit welchen Maßnahmen der Zielwert des Jahresprimärenergiebedarfs eingehalten werden soll: durch die Verbesserung der Gebäudehülle, durch eine verbesserte Anlagentechnik bzw. die Wahl des Brennstoffs oder durch die Kombination aus diesen Möglichkeiten.

Neben der EnEV muss seit 2009 ergänzend auch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) erfüllt werden. Das EEWärmeG verpflichtet dazu, einen bestimmten Anteil an erneuerbarer Energien bei der Wärme-und Kälteversorgung eines Gebäudes zu nutzen.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung liegt der Fokus nicht auf der Optimierung der Gebäudeseite, sondern auf der technisch-wirtschaftlich sinnvollen Auslegung der Wärmeversorgung unter Einhaltung des EEWärmeG.

Der energetische Standard der Gebäude wurde so gewählt, dass die Mindestanforderungen an die Gebäudehülle (begrenzt durch Transmissionswärmeverlust) nach EnEV bzw. (voraussichtlich) nach EU-Richtlinie eingehalten werden. Die Einhaltung der Anforderungen an den Primärenergiebedarf nach EnEV muss bei der Realisierung durch die Wahl einer geeigneten Anlagentechnik bzw. Versorgungsvariante erfolgen. Der Nachweis gemäß der gesetzlichen Normen ist im Rahmen des Konzepts nicht erfolgt und muss zu gegebenem Zeitpunkt für die realistischen Gebäude durchgeführt werden.

Generell gilt, dass durch die Höhe des Primärenergiefaktors des Versorgungsystems eventuelle Mehrkosten durch Ersatzmaßnahmen bzw. einen erhöhten Dämmstandard bestimmt werden. Ein schlechter Primärenergiefaktor kann dazu führen, dass die Gebäudehülle über den Mindeststandard hinaus gedämmt werden muss, um die primärenergetischen Anforderungen zu erfüllen.

4. Wärmeversorgungskonzept

Ausgehend von der Bestandsaufnahme im Rahmen der städtebaulichen Analyse und dem daraus abgeleiteten Wärmebedarf des Heilig-Kreuz-Areals werden in Abstimmung mit dem Auftraggeber die zu untersuchenden Wärmeversorgungsvarianten ausgewählt.

Insgesamt werden drei Varianten mit zentralen Wärmeversorgungssystemen sowie eine dezentrale Lösung betrachtet. In den zentralen Varianten wurden Wärmeerzeugungssysteme mit und ohne konventioneller Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) berücksichtigt. Des Weiteren werden aufgrund der räumlichen Nähe zur Berliner-Siedlung (BS) mögliche Synergien in Form eines Verbundsystems untersucht.

Eine Betrachtung der Kälteversorgung findet im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht statt. Das Gebiet hat überwiegend Wohnbebauung für das ein Kältebedarf nicht unterstellt wird. Die Datengrundlage gewerblicher Nutzung ist zum Zeitpunkt der Konzepterstellung noch wenig spezifiziert und wird vernachlässigt.

Daraus ergeben sich folgende zu untersuchende Varianten:

Variante A: zentrale Versorgung, HKA im Verbund mit BS, Biomethan/ Erdgas-BHKW

Variante B: zentral Versorgung, HKA, Erdgas-BHKW

Variante C: zentrale Versorgung, HKA, Holzpelletkessel

Variante D: dezentrale Versorgung, HKA, dez. Gasbrennwertkessel + Solarthermie

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich je nach Variante und Analyseschritt auf unterschiedliche Bilanzgrenzen. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse entsprechend zu berücksichtigen. Die jeweiligen Bilanzgrenzen sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Bilanzgrenze je Variante und Analyseschritt

Variante	*Technische Konzeption*	*Wirtschaftlichkeitsberechnung*	*Ökologische Bewertung*
Variante A	Verbund: HKA + BS	Typgebäude HKA	Verbund: HKA + BS
Variante B	HKA, Endausbau	HKA, Endausbau	HKA, Endausbau
Variante C	HKA, Endausbau	HKA, Endausbau	HKA, Endausbau
Variante D	Typgebäude HKA	Typgebäude HKA	Typgebäude HKA

4.1 Gesamtwärmebedarf je Variante und Bilanzgrenze

Der Gesamtwärmebedarf jeder Variante bildet die Grundlage für alle weiteren Analyseschritte:

- Technische Konzeption: Bestimmung der Nennweiten, Auslegung Erzeugungsanlagen
- Wirtschaftlichkeitsbewertung: Ermittlung Wärmekosten etc.
- Ökologische Bewertung: Ermittlung der endenergieabhängigen Emissionen, PEF

In Abhängigkeit der Bilanzgrenzen setzt sich der Gesamtwärmebedarf wie folgt zusammen:

In den Varianten B und C ergibt sich der Gesamtwärmebedarf aus dem abgeschätzten Wärmebedarf für Neubauten und Bestandsgebäude innerhalb der Bilanzgrenze (vgl. Abschnitt 3.2) zuzüglich der Verteilverluste für das Nahwärmenetz.

In der Verbundvariante A werden zusätzlich zum Wärmebedarf des Heilig-Kreuz-Areals Verbrauchswerte der Berliner Siedlung hinzugerechnet. Die Zahlen hierzu werden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

Die technische Auslegung der Variante D (Gasbrennwertkessel und Solarthermieanlage) erfolgt auf Basis eines Typgebäudes. Hierzu wird der Mittelwert des Wärmebedarfs aller geschätzten Neubauten (Wohngebäude) herangezogen. Größe und Bedarf des Typgebäudes entsprechen in etwa dem von Baublock 5.9. Der Gesamtwärmebedarf für Variante D entspricht der Summe aller Gebäude und liegt bei 15,3 GWh/a (Wärmebedarf HKA ohne Netzverluste).

In Tabelle 7 ist eine Übersicht des Gesamtwärmebedarfs für jede Variante bzw. Bilanzgrenze dargestellt.

Tabelle 7: Gesamtwärmebedarf je Variante und Bilanzgrenze

Variante	*Bilanzgrenze*		*Wärmebedarf (Nutzenergie)*	*Wärmearbeit inkl. Netzverluste*
Variante A	Verbundvariante (HKA + BS)	[GWh/a]	32,3	37,9
Variante B / C	HKA	[GWh/a]	15,3	17,0
Variante D	Typgebäude	[MWh/a]	351	-

4.2 Technische Konzeption Wärmeversorgung

4.2.1 Netzentwurf

Für die Varianten mit leitungsgebundener Wärmeversorgung (A, B und C) wird ein grober Netzentwurf erstellt (vgl. Abbildung 5). Anhand des Netzentwurfes wird mit einem vereinfachten Ansatz die mittlere Nennweite der Wärmeverteil- und Hausanschlussleitungen sowie der Verbundleitung für Variante A ermittelt. Ebenso werden die Längen der jeweiligen Wärmeleitungen abgemessen. Diese Angaben dienen zur überschlägigen Ermittlung der Investitionskosten im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbewertung. Eine hydraulische Berechnung hat an dieser Stelle nicht stattgefunden.

Aus dem in Abbildung 5 dargestellten Netzentwurf sind folgende Angaben abgeleitet:

- Länge Verbundleitung: ca. 1.500 m
- Länge Verteilleitung HKA: ca. 3.400 m
- Anzahl Hausanschlüsse: 51 Stück

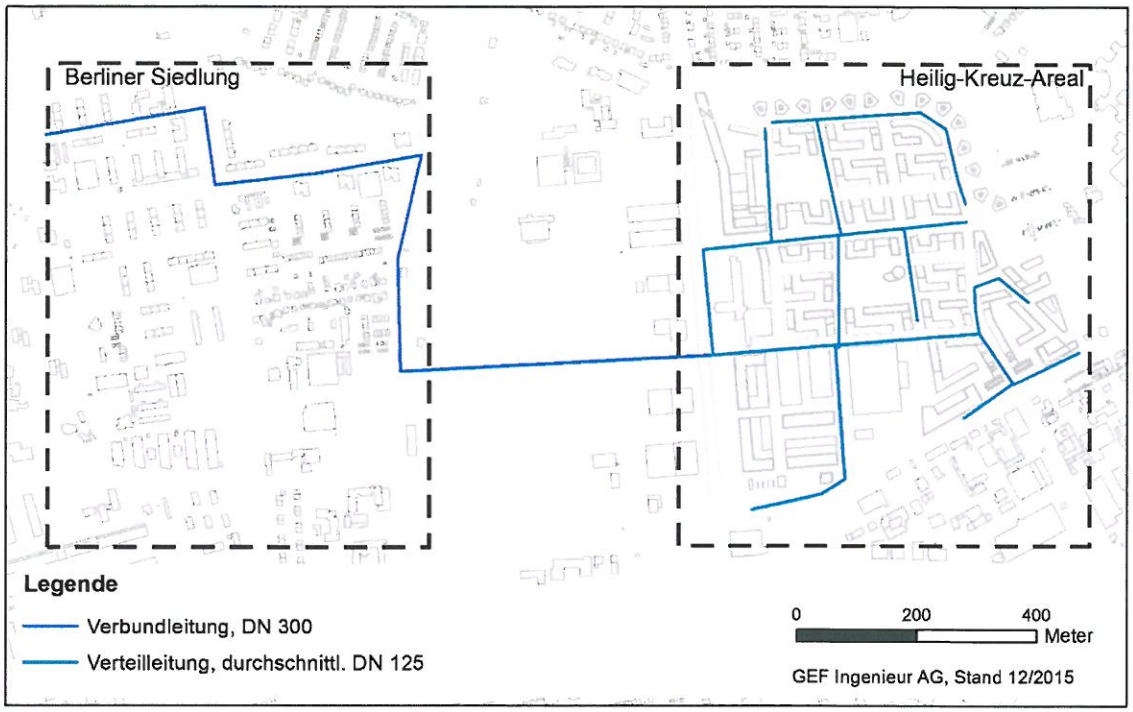


Abbildung 5: Entwurf Netzverlauf Variante A,B und C

4.2.2 Lastgänge und Erzeugereinsatzreihenfolge

Anhand des ermittelten Gesamtwärmebedarfs werden für die Varianten mit leitungsgebundene Wärmeversorgung entsprechend der Bilanzgrenzen Lastgänge erstellt (vgl. Abschnitt 4.1).

Für die Bestandsgebäude und die Neubauten des 1. Bauabschnitts werden Lastgänge in Anlehnung an das Verfahren zur Abwicklung von Standardlastprofilen ermittelt (BDEW 2011). Für die Niedrigstenergiegebäude des 2. Bauabschnittes wird der Lastgang eines Passivwohngebäudes skaliert. Die Netzverluste werden als über alle Jahresstunden gleichverteilt angenommen. Die Einzellastgänge werden für jede Variante addiert und der Größe nach zu geordneten Jahresdauerlinien sortiert.

Zur Erzeugerauslegung in Variante A (Verbund HKA mit Berliner Siedlung) wird zusätzlich die im Rahmen des Wärmemasterplans verwendete Jahresdauerlinie für die Berliner Siedlung genutzt.

Die jeweiligen Jahresdauerlinien sind im Anhang 7.2 aufgeführt.

Auf Basis der ermittelten Lastgänge und Jahresdauerlinien werden Erzeugungsanlagen ausgesucht und Erzeugereinsatzreihenfolgen für die einzelnen Varianten erstellt. Die Auslegung der Erzeugungsanlagen erfolgt jeweils für die Endausbaustufe des Heilig-Kreuz-Areals, d.h. für die Gesamtwärmebedarfe inklusive Netzverluste wie sie in Tabelle 7 aufgeführt sind. Die Anlagengrößen werden jedoch unter Berücksichtigung der zwei Bauphasen gewählt, sodass ein schrittweiser Zubau ermöglicht wird.

Die Auslegung der Erzeugungsanlagen hat ergeben, dass in Variante A die erneuerbare Wärme der Berliner Siedlung unter den getroffenen Annahmen nicht ausreichend ist, um bei zusätzlichem Anschluss des HKA die Anforderungen des EEWärmeG zu erfüllen, sodass bereits während des 1. Bauabschnittes eine weitere Erzeugungsanlage (BHKW) zugebaut werden muss.

Die Erzeugungssysteme werden so ausgelegt, dass die Anforderungen des EEWärmeG eingehalten werden.

In Tabelle 8 sind Aufbau und Erzeugungskomponenten der einzelnen Varianten aufgeführt. Die Erzeugereinsatzreihenfolge der Varianten A, B und C sind in Anhang 7.3 dargestellt.

Tabelle 8: Technische Konzeption Wärmeversorgungsvarianten

Variante	*Areal*	*Aufbau*	*Brennstoff*	*Erzeugungskomponenten*
Variante A	HKA + BS	zentral	Biomethan, Erdgas	Biomethan-BHKW (920 kW_{th}), Erdgas-BHKW (427 + 734 kW_{th}), Spitzenkessel (19.000 kW_{th})
Variante B	HKA	zentral	Erdgas	Erdgas-BHKW (2 x 734kW_{th}), Spitzenkessel (9.000 kW_{th})
Variante C	HKA	zentral	Holzpellets, Erdgas	Holzpelletkessel (2.000 kW_{th}, 3 x 3.200 kW_{th}), Reserve-Kessel (3.200 kW_{th})
Variante D	HKA	dezentral	Erdgas	Gasbrennwertkessel mit Solarthermie

Der Ermittlung des Solarthermie-Ertrags in Variante D liegt eine Berechnung der Firma Solvis für das definierte Typgebäude zugrunde (vgl. Anhang 7.4).

Die unter den getroffenen Annahmen und ausgewählten Erzeugungskomponenten resultierende Wärmeaufbringung jeder Variante (für den Vollausbau HKA) wird in

Abbildung 6 aufgeschlüsselt nach Erzeugungsanlage dargestellt.

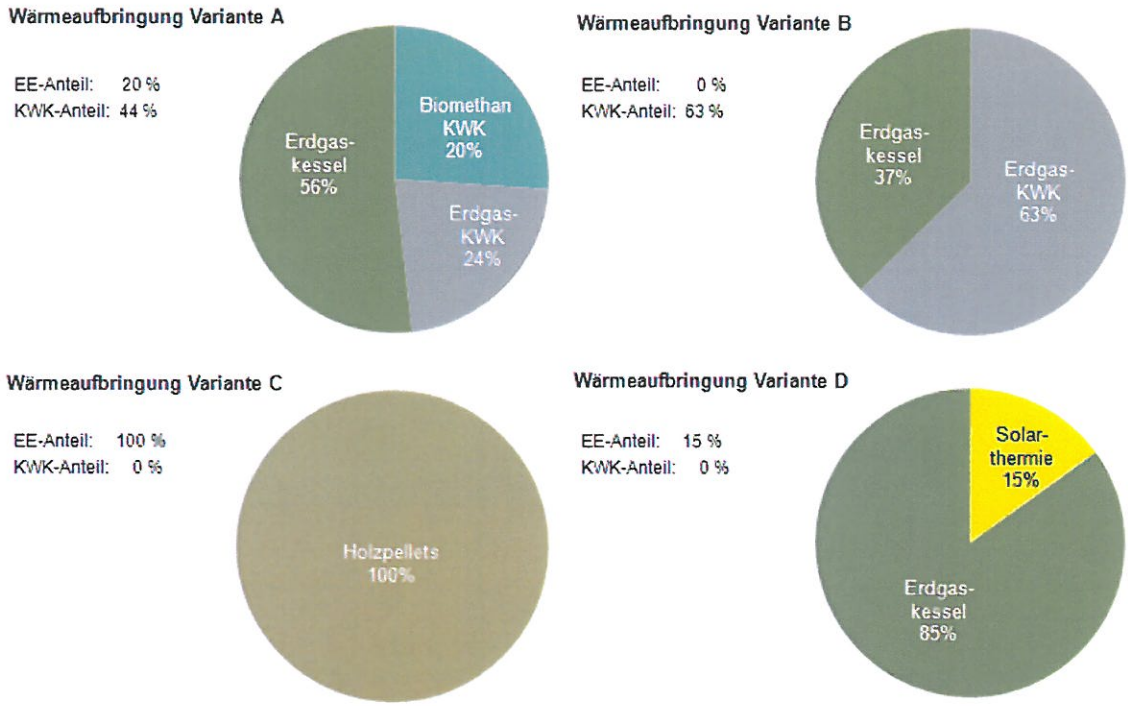


Abbildung 6: Wärmeaufbringung der Varianten

4.3 Wirtschaftliche Bewertung der Wärmeversorgungsvarianten

Zur Ermittlung der Wärmekosten der einzelnen Versorgungsvarianten wird eine annuitätische Wirtschaftlichkeitsbewertung in Anlehnung an VDI 2067 durchgeführt. Hierzu werden alle relevanten Investitionen (kapitalgebundene Kosten) sowie verbrauchs- und betriebsgebundene Kosten bestimmt und bewertet. Die Bilanzgrenzen der Wirtschaftlichkeitsberechnung sind zu Beginn des Kapitels 4 aufgeführt.

Für alle zentralen Varianten wird ein Anschlussgrad von 100 % der Gebäude unterstellt.

Die Parameter und Annahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung sind mit dem Auftraggeber abgestimmt und werden im Folgenden aufgeführt.

Die Investitionen werden für die wichtigsten Hauptkomponenten bestimmt. Darunter fallen Kosten für das Wärmeverteilnetz (in Abhängigkeit der Nennweite) sowie für Hausanschlussstationen (HAST), Erzeugungsanlagen, Gebäude- und Grundstückskosten für die Heizzentrale sowie sonstige Kosten für Anlagentechnik. Kapitalgebundene Kosten werden mittels einem zins- und nutzungsdauerabhängigen Annuitätsfaktor berechnet.

Tabelle 9: Parameter zur Ermittlung der kapitalgebundenen Kosten

Versorgung	*Komponente*	*Kalk. Zinssatz*	*Nutzungsdauer*	*spez. Invest*
zentral	Wärmeleitung	4%	40a	spez. nach DN
	Fernwärme-Hausstation (HAST)	4%	20a	15.000 €
	BHKW	4%	15a	800 €/kW$_{th}$
	zentraler Erdgaskessel	4%	20a	125 €/kW$_{th}$
	zentraler Pelletkessel	4%	20a	350 €/kW$_{th}$
	Anlagentechnik Heizzentrale	4%	15a	100 €/kW$_{th}$
	Gebäude Heizzentrale	4%	40a	300 €/m²
	Grundstück Heizzentrale	4%	50a	180 €/m²
dezentral	Kosten Gashausanschluss	3%	20a	5.700 €
	dezentraler Gas-Brennwertkessel	3%	20a	300 €/kW$_{th}$
	Solarthermie (inkl. Peripherie)	3%	20a	800 €/m² BKF

Zu den verbrauchsgebundenen Kosten gehören in erster Linie die Brennstoffkosten. Bei KWK-Anlagen wird an dieser Stelle für die eingespeiste Strommenge ein Erlös aus der Vermarktung in Höhe des EEX-Baseload Strompreises (Mittelwert üblicher Preis) sowie ein Zuschlag nach KWKG-2016 unterstellt.

In Tabelle 10 sind die verwendeten Brennstoffpreise und in Tabelle 11 die Anlagennutzungsgrade aufgeführt.

Tabelle 10: Brennstoffpreise

Versorgung	*Variante*	*Brennstoff*	*Preise (netto)*
zentral	Variante A	Arbeitspreis BS+HKA	75,0 €/MWh
	Variante A	Leistungspreis BS + HKA	35,0 €/kW$_{th}$
	Variante B	Erdgas (inkl. ESt.)	35,0 €/MWh$_{Ho}$
	Variante B	Erzielter Strompreis am Markt (Mittelwert übl. Preis)	32,03 €/MWh
	Variante C	Pellets	40,0 €/MWh
dezentral	Variante D	Erdgas (inkl. ESt.)	40,0 €/MWh$_{Ho}$

Für die BHKWs werden reale Anlagendaten aus dem BHKW-Kenndaten Katalog der ASUE (ASUE 2014a) entnommen.

Tabelle 11: Nutzungsgrade Erzeugungsanlagen

Variante	*Erzeugungsanlage*	*eta th.*	*eta. el. brutto*
Variante A	BHKW (427 kWth)	45,0%	42,2%

Variante A und B	BHKW (734 kWth)	47,4%	41,1%
Variante B	Zentraler Erdgaskessel	95,0%	-
Variante C	Zentraler Pelletkessel	80,0%	-
Variante D	Dezentraler Gas-Brennwertkessel	95,0%	-

Betriebsgebundene Kosten umfassen Wartung und Personal sowie sonstige Kosten wie Emissionsüberwachung durch Schornsteinfeger. Kosten für den Pumpstrombedarf werden in Abhängigkeit der ins Netz eingespeisten Wärmearbeit (1,5 %) ebenfalls berücksichtigt.

Tabelle 12: Parameter zur Ermittlung der betriebsgebundenen Kosten

Versorgung	*Komponente*	*Wartung u. Instandhaltung, sonstige Kosten*
Zentral	Wärmeleitung	5.000 €/km a
	BHKW	10,5 €/Bh a
	zentraler Erdgaskessel	1,5 % der Investition, p.a.
	zentraler Pelletkessel	6,0 % der Investition, p.a.
	Personalkosten (Heizzentrale)	20.000 €/a
	Preis für Pumpstrom	150 €/MWh a
dezentral	dezentraler Gas-Brennwertkessel	1,5 % der Investition, p.a.
	Solarthermie (inkl. Peripherie)	1,0 % der Investition, p.a.
	Schornsteinfeger	50 €/a

Aufgrund des hohen Investitionsvolumens für den Bau des Wärmenetzes wird angenommen, dass die Varianten B und C von einem Contractor realisiert werden. Für den Contractor wird eine Umsatzrendite in Höhe von 10 % angenommen.

Mit der annuitätischen Wirtschaftlichkeitsbewertung werden unter den vorgestellten Randbedingungen für jede Variante spezifische Wärmegestehungskosten ermittelt. Diese sind in Abbildung 7 dargestellt.

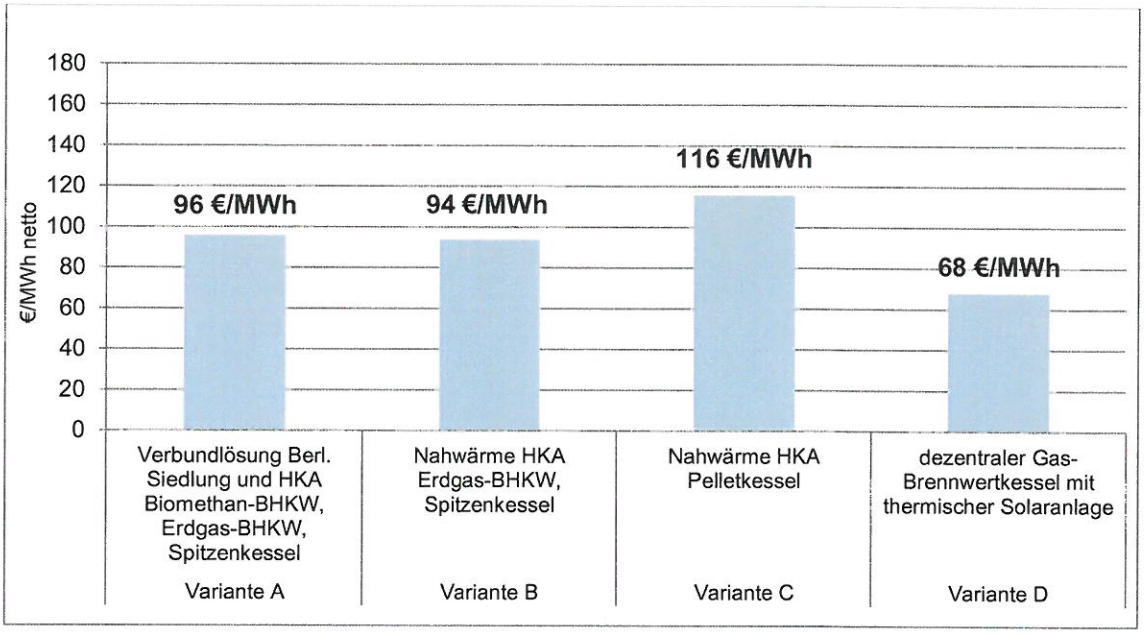


Abbildung 7: Spezifische Wärmekosten der Varianten

Die wirtschaftliche Bewertung hat ergeben, dass Variante D – dezentrale Versorgung mit Brennwertkessel und Solarthermie – die wirtschaftlich günstigste Variante ist. Dies ist auf den aktuell sehr niedrigen Gaspreis zurückzuführen. Die teuerste Variante ist mit 116 €/MWh die Pelletvariante (C). Die gas-basierten Nahwärmelösungen (Variante A und B) liegen preislich dicht beieinander.

4.4 Ökologische Bewertung

Die ökologische Bewertung der Versorgungsvarianten erfolgt anhand der folgenden Kriterien:

- Primärenergiefaktor
- $CO2_e$-Emissionen
- direkte Staub-Emissionen

Die Grundlagen der Berechnung sowie Ergebnisse sind in den folgenden Abschnitten geschildert.

4.4.1 Primärenergiefaktor

Der Primärenergiefaktor (PEF) gibt das Verhältnis der eingesetzten Primärenergie zur Nutzenergie[4] an. Je niedriger der Primärenergiefaktor, desto umweltschonender und effizienter ist der Energieeinsatz von der Quelle bis zum Endverbraucher.

Ebenso schlägt sich ein guter bzw. schlechter Primärenergiefaktor auf die Anforderungen an den Dämmstandard des Gebäudes nieder. Je schlechter der PEF, desto mehr muss ein Gebäude gedämmt werden, um den gesetzlichen Anforderungen an den Wärmeschutz (EnEV) gerecht zu werden.

Die Ermittlung der Primärenergiefaktoren erfolgt überschlägig in Anlehnung an das AGFW Arbeitsblatt FW 309. Für die KWK-basierten Varianten (A und B) wird die durch die BHKWs erzeugte Strommenge durch eine Stromgutschrift berücksichtigt.

Zur Ermittlung des Primärenergiefaktors werden folgende Primärenergiefaktoren verwendet:

- Biomethan 0,5
- Erdgas 1,1
- Pellets 0,2
- Strom (allgemeiner Strommix) 1,8
- Strom (Verdrängungsstrommix – bei KWK) 2,8

Für die einzelnen Wärmeversorgungsvarianten ergeben sich die darauffolgenden Werte:

Tabelle 13: Primärenergiefaktoren der Varianten

Variante	*Bilanzgrenze*	*Erzeugungskomponenten*	*Primärenergiefaktor [kWh PE / kWh NE]*
Variante A	HKA + BS	Biomethan- u. Erdgas-BHKW, Spitzenkessel	0,45
Variante B	HKA	Erdgas-BHKW, Spitzenkessel	0,49
Variante C	HKA	Holzpelletkessel, Reserve-Kessel	0,31
Variante D	Typgebäude	Gasbrennwertkessel mit Solarthermie	0,98

[4] Zur Definition der Nutzenergie vgl. Abbildung 4

Die Variante C hat durch den Einsatz von erneuerbaren Energien den besten Primärenergiefaktor von 0,31. Für die zentralen Varianten A und B ergibt sich mit einem PEF von 0,45 bzw. 0,49 ebenfalls ein gutes Ergebnis. Die Variante D schneidet mit 0,98 am schlechtesten ab.

Da die Bilanzierung des Wärmebedarfs nicht nach EnEV gültigen Berechnungsnormen durchgeführt wurden (vgl. Abschnitt 3.3), kann an dieser Stelle keine Aussage über die Erfüllung bzw. Nichterfüllung der primärenergetischen Anforderungen nach EnEV getroffen werden. Je schlechter der PEF, desto höher ist jedoch die Wahrscheinlichkeit, dass zusätzliche Maßnahmen zur Erreichung des Ziel-Primärenergiebedarfs (verbesserte Dämmung und/ oder Anlagentechnik) durchgeführt werden müssen.

4.4.2 Treibhausgase – CO_{2e}-Emissionen

Die Ermittlung der Treibhausgase erfolgt in Anlehnung an die vom IFEU-Institut empfohlenen Bilanzierungsmethodik. Dabei werden die endenergiebedingten Emissionen, die durch die Wärmeerzeugung entstehen, anhand von CO_2-Äquivalenten (CO_{2e}) ermittelt (IFEU 2014).

Durch die Verwendung von CO_2-Äquivalenten werden neben Kohlendioxid auch andere, klimaschädliche Treibhausgasemissionen wie z. B. Methan berücksichtig. Die Emissionsfaktoren berücksichtigen weiterhin alle Emissionen, die bei Gewinnung, Umwandlung und Transport des Energieträgers (Vorkette) entstehen.

Zur Ermittlung der spezifischen CO_{2e}-Emissionen wurden folgende Emissionsfaktoren verwendet (IFEU bzw. GEMIS 4.9):

- Biomethan 160 kg/MWh
- Erdgas 250 kg/MWh
- Pellets 27 kg/MWh
- Strom (Bundesmix) 619 kg/MWh

Die Bilanzierung der einzelnen Varianten erfolgt auf Basis der eingesetzten Endenergie der jeweiligen Brennstoffe, die für das Gesamtareal im Vollausbau zu erwarten sind.

In Tabelle 14 sind die ermittelten spezifischen CO_{2e}-Emissionen für jede Variante dargestellt.

Tabelle 14: Spezifische CO_{2e}-Emissionen der Varianten

Variante	*Bilanzgrenze*	*Erzeugungskomponenten*	*spez. CO_{2e}-Emissionen [kg/MWh]*
Variante A	HKA + BS	Biomethan- u. Erdgas-BHKW, Spitzenkessel	133
Variante B	HKA	Erdgas-BHKW, Spitzenkessel	121
Variante C	HKA	Holzpelletkessel, Reserve-Kessel	48
Variante D	Typgebäude	Gasbrennwertkessel mit Solarthermie	223

Es zeigt sich, dass die Varianten mit erhöhtem Einsatz von erneuerbaren Energien, die geringsten spezifischen CO_{2e}-Emissionen aufweisen. In Variante B kann durch die Stromgutschrift des BHKWs trotz gas-basierter Erzeugung ein vergleichsweise niedriges Ergebnis erzielt werden. In Variante D werden die größten Mengen an Treibhausgasemissionen ausgestoßen.

4.4.3 Luftschadstoffe – direkte Staub-Emissionen

Aufgrund der Feinstaubproblematik, insbesondere in den Bereichen der Innenstädte, werden die direkten Staub-Emissionen berechnet.

Die Emissionsfaktoren enthalten keine Vorkette und sind aus der Version GEMIS 4.9 entnommen:

- Biomethan 0,0010059 kg/MWh
- Erdgas 0,0010059 kg/MWh
- Pellets 0,060886 kg/MWh
- Strom -

In Tabelle 15 sind die ermittelten direkten spezifischen Staub-Emissionen der unterschiedlichen Versorgungsvarianten dargestellt.

Tabelle 15: Direkte spezifische Staub-Emissionen der Varianten

Variante	*Bilanzgrenze*	*Erzeugungskomponenten*	*direkte Staubemissionen [kg/MWh]*
Variante A	HKA + BS	Biomethan- u. Erdgas-BHKW, Spitzenkessel	1,8
Variante B	HKA	Erdgas-BHKW, Spitzenkessel	1,9
Variante C	HKA	Holzpelletkessel, Reserve-Kessel	84,6
Variante D	Typgebäude	Gasbrennwertkessel mit Solarthermie	0,9

Der Vergleich zeigt, dass bei der Verfeuerung von Holzpellets (Variante C) die größten Mengen direkter Staub-Emissionen entstehen. Die Varianten A, B und D weisen kaum direkte Staub-Emissionen auf.

4.5 Konzeptionelle Vorarbeiten im Rahmen des Wärmemasterplans

Im Jahr 2015 ist der von der GEF Ingenieur AG im Auftrag der Thermago GmbH erarbeitete Wärmemasterplan für die Stadt Mainz fertiggestellt worden. Ziel war es, unter Berücksichtigung langfristiger Wärmebedarfsszenarien bis 2050 einen Maßnahmenkatalog und einen Umsetzungsfahrplan zu entwickeln, der als Orientierungshilfe bei der Planung und Realisierung von Projekten im Wärmebereich dienen soll. Fragestellungen, die im Rahmen des Masterplans analysiert wurden, sind unter anderem:

- Wie kann sich der Wärmebedarf – räumlich verteilt – im Stadtgebiet langfristig entwickeln?
- In welchen Quartieren soll das Fernwärmenetz langfristig erhalten bzw. ausgebaut werden?
- In welchen Quartieren soll das Erdgasnetz langfristig erhalten bzw. ausgebaut werden?
- Welche Gebiete bieten sich zum Aufbau von Wärmeinseln/Nahwärme an?
- Welche Technologien sind für die dezentrale Wärmeversorgung zukunftsfähig?

Dabei galt es, insbesondere diejenigen Maßnahmen herauszuarbeiten, die sowohl für den Kunden als auch für den Versorger attraktiv sind.

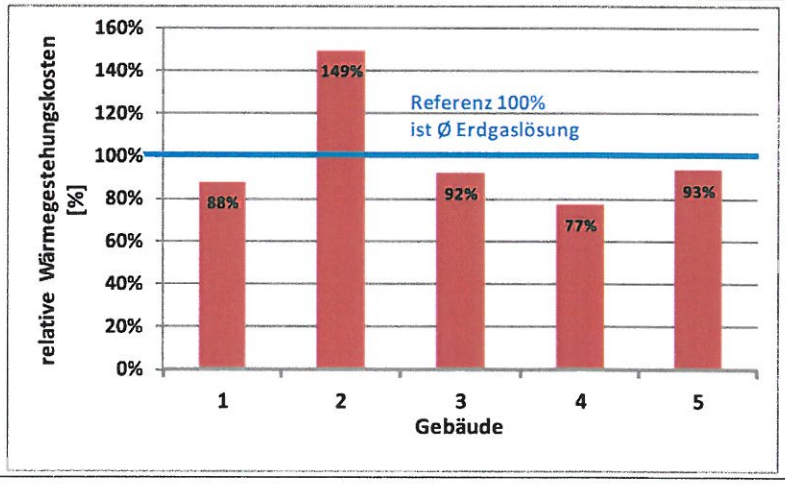
Aus der Kombination dieser Fragestellungen ergibt sich eine sehr hohe Zahl möglicher Entwicklungspfade für einzelne Quartiere. Mit dem Wärmemasterplan wurden Leitplanken für ein sinnvolles Gesamtkonzept erarbeitet, die es ermöglichen, künftig wesentliche Vorfestlegungen für einzelne Quartiere zu treffen.

In einem mehrstufigen Abschichtungsverfahren wurden potenziell geeignete Gebiete für Nah- und Fernwärme ermittelt. Parallel wurde in Abstimmung mit dem Umweltamt und dem Klimaschutzbeirat eine Technologieanalyse verschiedener zentraler, arealer und dezentraler Wärmeaufbringungstechniken durchgeführt. Für zehn dezentrale Versorgungsoptionen wird ausführlich untersucht, für welche typischen Versorgungssituationen (EFH, MFH, Hochhaus, Bestand, Neubau) sie sich eignen. Die Ergebnisse werden in Technologiesteckbriefen zusammengefasst und nach technischen, wirtschaftlichen, ökologischen und weiteren Kriterien bewertet. In Abbildung 8 ist ein Muster für einen Technologiesteckbrief dargestellt.

Steckbrief	Erdgas Kessel
Kurzbeschreibung	Wärmeerzeugung mittels Verbrennung von Erdgas in einem Kessel Erdgasanbindung notwendig eta th = 92 % Erdgasanbindung notwendig Feuerungswärmeleistung am Standort < 1MW
Skalierung Punkte	1 = schlechtester Wert; 4 = bester Wert
Gebäude 1	Einfamilienhaus (EFH) Bestand [Anschlusswert 11 kW; Jahresarbeit 20 MWh/a]
Gebäude 2	Einfamilienhaus Neubau [Anschlusswert 8 kW; Jahresarbeit 11 MWh/a]
Gebäude 3	Mehrfamilienhaus Innenstadt Bestand [Anschlusswert 45 kW; Jahresarbeit 63 MWh/a]
Gebäude 4	Hochhaus / großes Mehrfamilienhaus Bestand [Anschlusswert 135 kW; Jahresarbeit 190 MWh/a]
Gebäude 5	Neubau Mehrfamilienhaus [Anschlusswert 27 kW; Jahresarbeit 38 MWh/a]

			Gebäude					
			1	2	3	4	5	
technische Kriterien		Gew.	Punkte					Kommentar
Marktreife		30%	4	4	4	4	4	- verfügbare Serienproduktion - hohe technische Reife - hohe Verfügbarkeit am Markt
Modularität		20%	4	4	4	4	4	- ein oder mehrere Module möglich - Austauschbarkeit einzelner Komponenten gegeben
Lastflexibilität		20%	4	4	4	4	4	- hohe Regelungsgeschwindigkeit - geringe Mindestlast - geringe Startzeiten
Effizienz		30%	3	3	3	3	3	- hoher Wirkungsgrad - keine Stromauskopplung
Σ			3,70	3,70	3,70	3,70	3,70	
			1	2	3	4	5	
wirtschaftliche Kriterien		Gew.	Punkte					Kommentar
Wärmegestehungskosten frei Kunde		45%	3	2	3	4	3	
Investition		20%	4	3	4	4	4	
Betriebskosten		25%	4	4	4	4	4	
Potenzial für Marge		10%	4	4	4	4	4	- Prämisse bei EFH: Mindestens 10 Gebäude sind in einer Gegend zu akquirieren sonst minimale Punktzahl 1
Σ			3,55	2,90	3,55	4,00	3,55	

Kostenstruktur



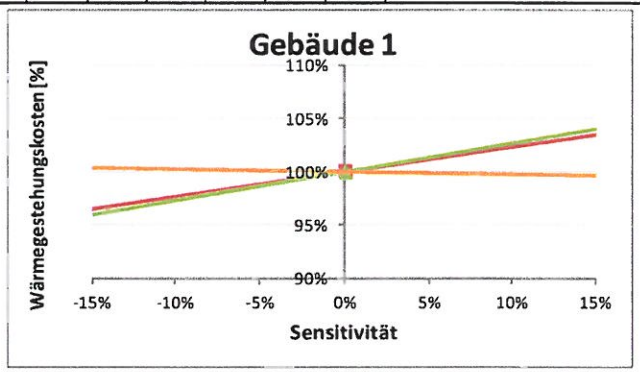
			Gebäude					
			1	2	3	4	5	
ökologische Kriterien	Ant.	Gew.	1					Kommentar
CO_2-Emissionen		25%	2	2	2	2	2	
Primärenergiefaktor		35%	1	1	1	1	1	
Feinstaub		22,5%	4	4	4	4	4	
Verkehrsbelastung/Lärm		17,5%	2	2	2	2	2	- leitungsgebundene Anlieferung mit großen Leitungen - geringes Gewicht Brennstoff - Verbrennung am Standort erzeugt Geräusche
Σ			2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	
			1	2	3	4	5	
Sonstige Kriterien	Ant.	Gew.	Punkte					Kommentar
Innovationsgrad		35%	1	1	1	1	1	- Technologie ist über Dekaden erprobt - geringes Optimierungspotenzial
Standort-Anforderungen		45%	2	2	2	2	2	- Anlage erfordert Platz - allerdings kaum Maßnahmen und aufwendige Genehmigungen - geringe bautechnische Maßnahmen notwending
neues Geschäftsmodell		20%	1	1	1	1	1	- Geschäftsmodell existiert seit Dekaden
Σ			1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	
			1	2	3	4	5	
Gesamtbewertung		Ant.	Punkte					
Technische Kriterien		**25%**	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70	
Wirtschaftliche Kriterien		**40%**	3,55	2,90	3,55	4,00	3,55	
Ökologische Kriterien		**25%**	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	
Sonstige Kriterien		**10%**	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	
Gesamtpunktzahl			**3,02**	**2,76**	**3,02**	**3,20**	**3,02**	

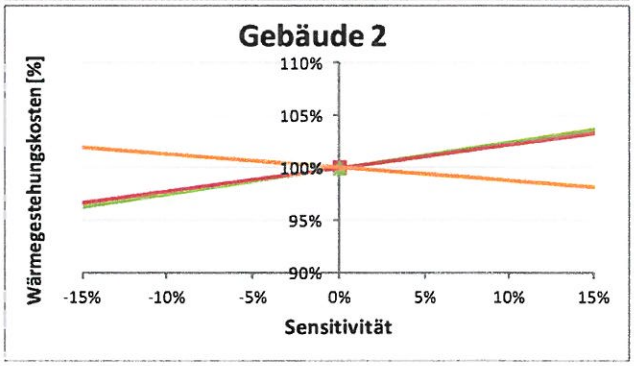
Sensitivitätsanalyse

Sensitivität 1 Investition

Sensitivität 2 Brennstoff

Sensitivität 3 Wirkungsgrad





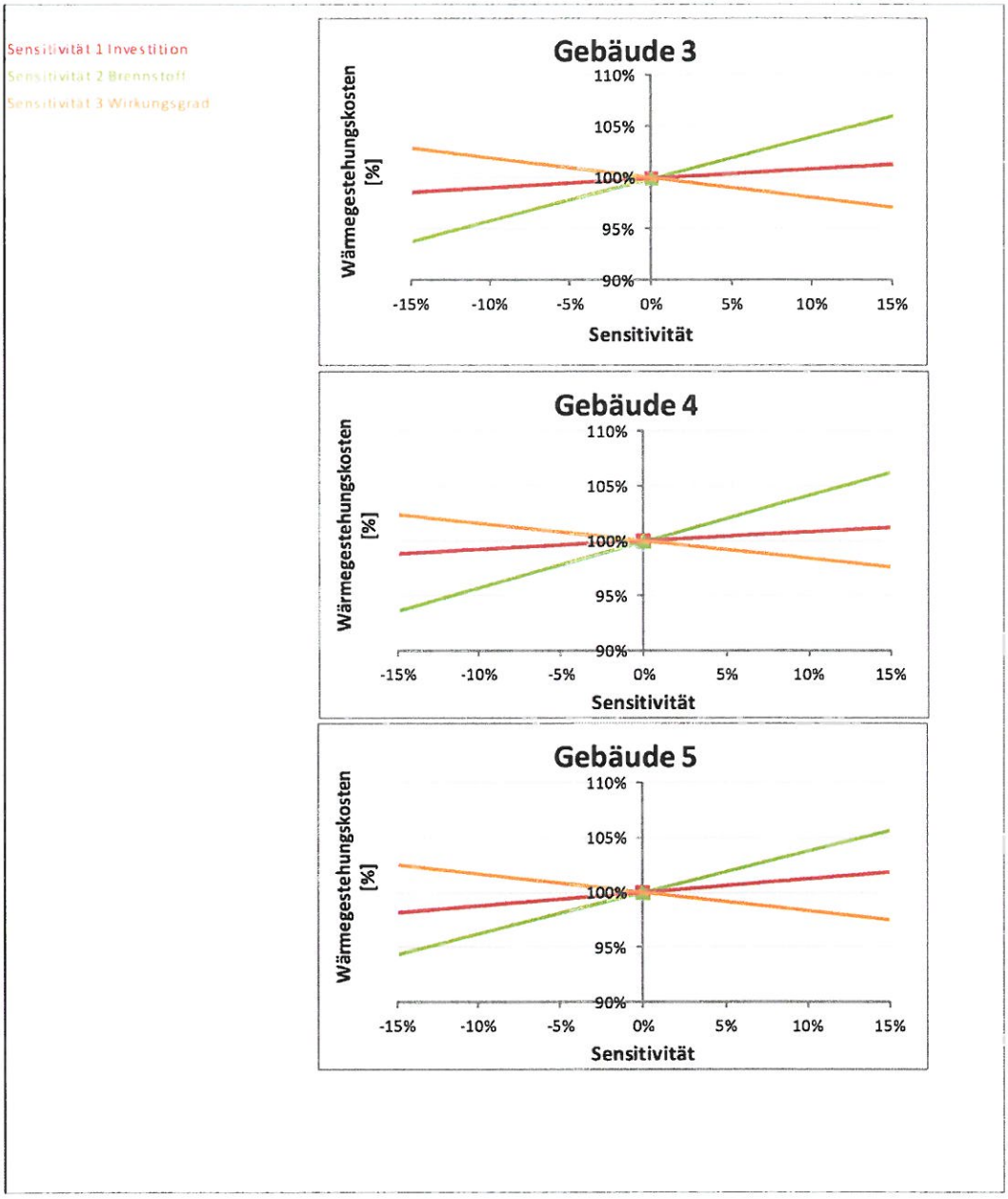


Abbildung 8: Muster Technologiesteckbrief

Da für Fernwärmeausbaugebiete und mögliche Wärmeinseln eine derartig standardisierte Betrachtung nicht sinnvoll ist, weil besonders die Wirtschaftlichkeit stark von den individuellen Randbedingungen des Quartiers abhängt, wurden für die Technologieanalyse mehrere Quartiere in den Blick genommen, die ein Spektrum leitungsgebundener Wärmeversorgung abdecken.

Im Mittel über alle untersuchten Quartiere, Gebäudetypen und Wärmeversorgungsoptionen erreichte die Fernwärme bei der Technologieanalyse die beste Bewertung, gefolgt von dezentralen Biomethankesseln, Erdgaskesseln und Wärmeinseln. Die niedrigsten Mittelwerte erreichten die verschiedenen Wärmepumpenlösungen, Erdgas-Mikro-KWK und Brennstoffzellen (s. Tabelle 16 unten).

Da das Heilig-Kreuz-Areal aufgrund seiner hohen Wärmedichte für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung geeignet erscheint, werden im Rahmen der Technologieanalyse im Masterplan verschiedene Varianten (Erschließung mit Fernwärme oder Nahwärme) für das Quartier untersucht (s. Tabelle 16 oben[5]).

Tabelle 16: Ergebnisse der Technologieanalyse

Nr.	Art der Versorgung		Versorgungssystem	Ergebnis Technologie-Analyse
1	zentral	HKA	Fernwärme große Trasse (nur HKA an die FW)	3,61
2	zentral	HKA	Fernwärme kleine Trasse (BS an FW, Abzweig zum HKA)	3,53
3	areal	HKA	Pellet-Kessel + Erdgas-Kessel	2,89
4	areal	BS+ HKA	Biomethan-BHWK + Erdgas-BHWK + Erdgas-Kessel	3,14
				Mittelwert über 5 Gebäudetypen
5	dezentral		Biomethan Kessel	3,04
6	dezentral		Erdgas Kessel	3,00
7	dezentral		Erdgas + Solar	2,78
8	dezentral		Pellets	2,74
9	dezentral		WP Tiefenbohrung	2,30
10	dezentral		WP Erdkollektor	2,26
11	dezentral		WP Luft	2,07
12	dezentral		WP Abwasser	2,05
13	dezentral		Erdgas Mikro-KWK	1,87
14	dezentral		Brennstoffzelle	1,73

Da bei Fertigstellung des Wärmemasterplans die städtebauliche Konzeption für das Heilig-Kreuz-Areal noch nicht abgeschlossen war, wurde im Masterplan noch keine endgültige Entscheidung

[5] Im oberen Teil der Tabelle (zentrale und areale Versorgung) keine Mittelwerte, sondern Ergebnisse für einzelne Untersuchungen.

für eine Versorgungslösung getroffen, sondern empfohlen, geeignete Fern- bzw. Nahwärmeoptionen erneut zu prüfen, wenn die Randbedingungen für die Bebauung des HKA ausreichend definiert sind.

Im Rahmen des Energiekonzeptes geprüft werden drei areale Optionen: Option Nr. 4 aus dem Wärmemasterplan, eine abgewandelte Option Nr. 3 (als reine Pellet-Variante, um 100 % EE-Variante im Portfolio zu haben) sowie als neue Variante eine Kombination aus Erdgas-BHWK und Erdgas-Kessel für HKA und als dezentrale EEWärmeG-konforme Referenzvariante die Kombination Erdgaskessel plus Solarthermie. Die Fernwärmevarianten werden trotz hoher Punktzahl in der Technologieanalyse aufgrund der gegenwärtig schwierigen Situation von Erdgas-GuD-Anlagen am Strommarkt als Option nicht mehr einbezogen.

4.6 Wärmepumpen

In der Technologieanalyse werden vier Typen von Wärmepumpen verglichen: Wärmepumpen mit Tiefenbohrung, mit Erdkollektoren, Luft/Wasser-Wärmepumpen und Wärmepumpen zur Nutzung der Abwärme aus Abwasser. Für ein verdichtet bebautes Gebiet wie das HKA (GFZ bis 2,7) sind Erdkollektoren aufgrund ihres hohen Platzbedarfs weniger geeignet. Auch Luft/Wasser-Wärmepumpen benötigen Platz in Form von Aufstellflächen außerhalb der Gebäude. Zusätzlich kann es bei Nutzung von Luft als Umweltwärmequelle zu Geräuschbelästigungen durch die Ansaugung bzw. Ausblasung kommen, was in dicht besiedelten Gebieten eine Restriktion darstellen kann [Ifeu 2014b].

In der Technologieanalyse erreichen Wärmepumpen mit Tiefenbohrung im Vergleich zu den anderen Wärmepumpenvarianten im Mittel über alle Gebäudetypen die relativ beste Bewertung und werden im Folgenden qualitativ auf ihre Eignung als dezentrale Versorgungslösung für das HKA geprüft.

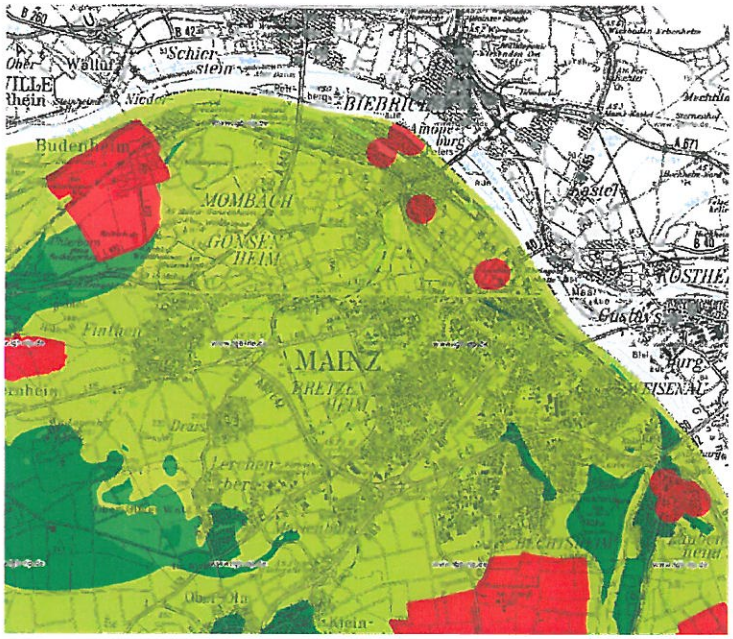
Für die Realisierung von dezentralen Wärmepumpen mit Erdwärmesonden sind folgende Randbedingungen relevant:

- Mit steigendem Temperaturhub zwischen Wärmequelle und Wärmenutzung sinkt die Jahresarbeitszahl und damit die Effizienz von Wärmepumpen. Wichtig für einen effizienten Betrieb ist deshalb das Vorhandensein von Niedertemperatur-Heizsystemen wie z. B. Fußboden- oder Wandheizung sowie eine möglichst niedrige Brauchwarmwassertemperatur. Um das EE-WärmeG einzuhalten, müssen Erdwärmepumpen mit reiner Heizungsnutzung eine Jahresarbeitszahl von mindestens 4 erreichen, bei gleichzeitiger Trinkwarmwassererwärmung von mindestens 3,8.
- Die Bodenart muss grundsätzlich für die Nutzung durch flache Geothermie geeignet sein und eine ausreichende Wärmeentzugsleistung ermöglichen.
- Der Bau von Erdsonden muss genehmigungsfähig sein (Restriktionen können durch Grundwasserschutz, vorhandene Heilquellen, intensive Verkarstung, Anhydritvorkommen, etc. zum Tragen kommen).
- Die Grundstücksflächen müssen ausreichend Platz für die Einbringung der Erdsonden unter Berücksichtigung der notwendigen Abstände bieten.
- Potenzielle Investoren müssen bereit sein, die Kosten für die Tiefenbohrungen und die Wärmepumpen vorzufinanzieren.

Randbedingungen für den effizienten Betrieb von Wärmepumpen: Das HKA umfasst neben Wohn-Neubauten auch Neubauten und Bestandsgebäude mit gewerblicher Nutzung. Während die für effizienten Wärmepumpen-Einsatz notwendigen Niedertemperatur-Heizsysteme im Wohnneubau heute üblich sind, ist eine Nachrüstung bei Bestandsgebäuden in der Regel unwirtschaftlich.

Um im Bereich Warmwasserbereitung die für Wärmepumpen ungünstig hohe Temperatur von 60 °C (in Großanlagen wie z. B. Mehrfamilienhäusern vorgeschrieben) zu vermeiden, könnte eine zentrale elektrische Nachheizung (Heizstab) oder eine dezentrale elektrische Warmwasserbereitung mit Durchlauferhitzern realisiert werden.

Geologische Eignung und Genehmigungsfähigkeit: Der Einsatz von Wärmepumpen mit tiefen Erdsonden wird vom [LGB 2016] in diesem Teil von Mainz unter wasserwirtschaftlichen und hydrogeologischen Gesichtspunkten als grundsätzlich genehmigungsfähig eingestuft. Für mögliche Wärmeentzugsleistungen (1.800 Betriebsstunden, trockenes Gestein) werden Werte zwischen 40 und 45 W/m angegeben.



Quelle:

www.lgb-rlp.de/erdwaerme.html

Abbildung 9: Genehmigungsfähigkeit von Erdsonden im Raum Mainz

Weitere mögliche Restriktionen (Geologie, Hydrologie, vorhandene Infrastruktur im Boden, etc.) werden im Rahmen dieser Untersuchung nicht geprüft.

Flächenbedarf: Für das Typgebäude Block 5.9 wird abgeschätzt, ob die auf dem Grundstück verfügbare Fläche eine dezentrale Wärmeversorgung mit Wärmepumpen mit Tiefenbohrung ausreicht.

Dafür werden in Anlehnung an [Ifeu 2014b] folgende Annahmen getroffen:

Mindestabstand zum Gebäude	2 m
Mindestabstand zur Grundstücksgrenze	5 m
Abstand zwischen den Sonden	6 m
Entzugsleistung im Erdreich	40 W/m
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	3,8

Um die Wärmeleistung des Gebäudes von 170 kW zu decken, ist bei einer Jahresarbeitszahl von 3,8 eine Wärmepumpenleistung von 45 kW erforderlich. Bei einer Entzugsleistung von 40 W/m ergibt sich eine notwendige Gesamt-Sondenlänge von 1.125 Metern. Dies entspricht rund 11 Sonden mit je 100 Metern Tiefe.

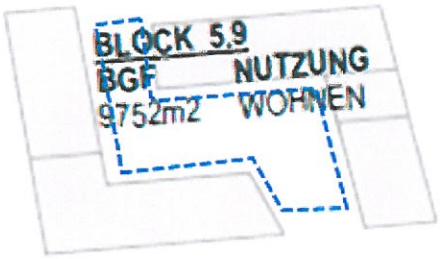


Abbildung 10: Skizze Typgebäude (Block 5.9)

Diese Sonden-Anzahl könnte in der Fläche zwischen den Gebäudeteilen von Block 5.9 unter Einhaltung der oben genannten Randbedingungen auf der in Abbildung 10 blau gekennzeichneten Fläche realisiert werden.

Höhe der Investition: Im Rahmen der Technologieanalyse wurden für fünf verschieden Gebäudetypen Investitionskosten für Wärmepumpen mit Tiefenbohrung ermittelt. Diese liegen – je nach Gebäudetyp – um den Faktor 3 – 5 über den Investitionen für andere dezentrale Techniken (z. B. Erdgaskessel + Solarthermie). Die hohen Kosten der Erdsonden und der Wärmepumpe können ein erhebliches Hemmnis für potenzielle Investoren darstellen, da bei einer dezentralen Wärmeversorgung mit Wärmepumpen in der Regel kein Contractor bei der Finanzierung einspringt. Hinzu kommt, dass auf dem Heilig-Kreuz-Areal Wohnraum unter der Prämisse „Bezahlbares Wohnen nach Maß" realisiert werden soll. Es ist davon auszugehen, dass Investoren auf diesem Areal Wärmeversorgungsoptionen ohne hohe Anfangskosten, die sich erst über einen langen Zeitraum amortisieren, bevorzugen würden.

Im Ergebnis erscheinen Erdsonden mit Wärmepumpen als weniger geeignete dezentrale Versorgungsoption für das HKA.

4.7 Kalte Fernwärme

Fernwärmenetze in Deutschland werden typischerweise mit Vorlauftemperaturen oberhalb der Temperaturen der Wärmeanwendungen betrieben (s. Tabelle 17).

Tabelle 17: Temperaturniveaus von Wärmeanwendungen im Haushalt

Anwendung	*Temperatur*
Fußbodenheizung	35 °C Vorlauftemperatur der Heizung
Duschen	> 40 °C
Baden/Spülen	> 45 °C
Warmwasser in Großanlagen (z. B. MFH)	mind. 60 °C muss am Austritt eingehalten werden können
Radiatorheizung	55 - 80 °C Vorlauftemperatur der Heizung

Dampf oder Hochtemperatur-Abwärme aus Industrieprozessen oder aus der Stromerzeugung werden dabei im Rahmen einer Kaskadennutzung für die Heizung und Warmwasserbereitung verwendet. Abbildung 11 sind übliche Temperaturniveaus von Fernwärmenetzen dargestellt. Netze mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 90 °C oder niedriger werden als Niedertemperatur oder Low-Ex[6]-Netze bezeichnet.

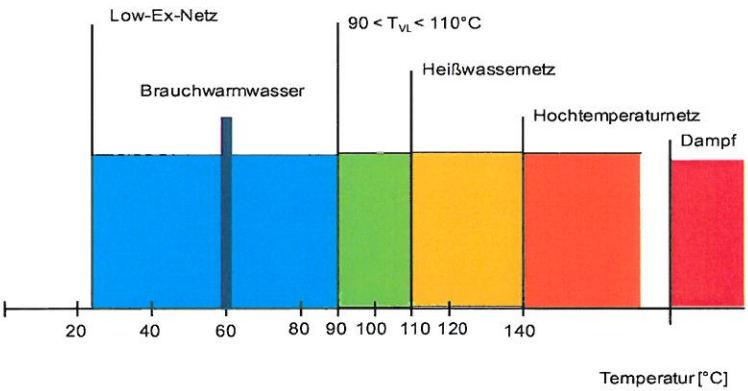


Abbildung 11: Temperaturniveaus der Fernwärme

Neuere Fernwärmenetze, die Kunststoffmantelrohre als Verlegesystem (max. T_{VL} ca. 130 °C) und BHKW zur Grundlast-Wärmeaufbringung nutzen (max. T_{VL} ca. 105 °C), werden mit maximalen Vorlauftemperaturen von 90 – 110 °C betrieben. Bei einer weiteren Absenkungen in den Low-Ex-Bereich wirkt das Arbeitsblatt W 551 der DVGW begrenzend, das zur Legionellenprophylaxe vorschreibt, dass eine Wassertemperatur von 60 °C am Austritt erreicht werden können muss. Aus dieser Anforderung ergeben sich Mindesttemperaturen für den Fernwärmevorlauf von 65 - 70 °C auch im Sommer.

[6] Abkürzung für low exergy = Netze mit niedrigen Anteilen an Exergie

Um vorhandene Potenziale an Niedertemperatur-Abwärme zu nutzen (z. B. aus Abwässerkanälen, Grubenwässern oder Niedertemperatur-Industrieprozessen), sind in den letzten Jahren Pilotanlagen für „kalte Fernwärme" mit sehr niedrigen Temperaturen realisiert worden. Beispiele hierfür sind:

- Aurich: Nutzung der 20 - 25 °C warme Abwässer aus der Molkerei Rücker (Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, s. www.dbu.de/projekt_26988/01_db_2409.html)
- Herford: Neubaugebiet Sattlerweg, Nutzung von industrieller Abwärme aus den Kühltürmen des Milchwerks Humana, 700 m Wärmenetz, 23 °C Vorlauftemperatur, ([IFEU 2009] s. https://energieservice-ww.com/node/48977)
- Wüstenrot: Plusenergie-Neubausiedlung "Vordere Viehweide", Nutzung von Erdkollektoren, die in ausreichender Tiefe unter landwirtschaftlichen Flächen verlegt werden, als Wärmequelle (5 - 15 °C), Anhebung mit dezentralen Wärmepumpen, (Forschungsprojekt im Programm EnEff:Stadt, www.envisage-wuestenrot.de/fotos-termine-dateien/erneuerbare-energien/agrothermie-geothermie)

Um die Nutzungstemperaturen zu erreichen, ist bei kalter Fernwärme eine Nachheizung erforderlich. Diese erfolgt üblicherweise mit Wärmepumpen dezentral im jeweiligen Gebäude. Grundsätzlich sind jedoch auch andere Formen der Nachheizung denkbar, z. B. Elektro-Heizstäbe oder fossile Kessel.

[IFEU 2009] listet für die Realisierung kalter Nahwärmenetze Vorteile und Kritikpunkte auf:

Als Vorteile werden aufgeführt:

- Einbindung von Niedertemperatur-Wärmequellen in das Netz möglich
- geringere Investitionskosten für das Wärmenetz (Rohrbau, Tiefbau)
- sehr geringe Wärmeverteilverluste

Als Kritikpunkte werden genannt, dass kalte Fernwärme immer auf das nutzbare Temperaturniveau angehoben werden muss. Ob sich ökologische Vorteile gegenüber einer Referenzvariante ergeben ist nicht allgemeingültig zu beantworten, sondern ist abhängig

- vom gewähltem Referenzenergiesystem für den Vergleich
- vom Ansatz für den Strommix für (strombetriebene) Wärmepumpen
- von Art, Ergiebigkeit und Temperaturniveau der Niedertemperatur-Wärmequelle
- von der Effizienz der Wärmepumpe (insbesondere problematisch bei der Erzeugung von Brauchwarmwasser mit > 60 °C)
- von der Abstimmung der Systemkomponenten untereinander (Wärmepumpe, hydraulische Einbindung, Systemtemperaturen Heizung und Warmwasser, etc.)
- bei strombetriebenen Wärmepumpen sind Konstellationen möglich (Einsatz von fossilem Strom, niedrige Jahresarbeitszahl aufgrund ineffizienter Randbedingungen), bei denen sich ökologische Nachteile gegenüber einem rein fossilen Referenzsystem ergeben können.

[IFEU 2009] nennt Voraussetzungen, die für die Realisierung kalter Nahwärmenetze gegeben sein sollten. Diese werden im Folgenden mit Bezug auf das Heilig-Kreuz-Areal kommentiert und bewertet.

Tabelle 18: Randbedingungen für kalte Fernwärme

++ sehr gut; + gut, o durchschnittlich, - schlecht, - - sehr schlecht

Voraussetzungen	Kommentar	Bewertung
Neubausiedlung nach Niedrigenergiestandard	HKA umfasst nicht nur Neubauten, sondern auch Bestandsgebäude (bezogen auf ersten Bauabschnitt 20 % des Wärmebedarfs); in der Variante A (inkl. Berliner Siedlung) liegt der Anteil der Bestandsgebäude noch deutlich höher.	- -
Niedertemperaturheizung in den Gebäuden	trifft mit hoher Wahrscheinlichkeit nur auf die Wohn-Neubauten zu, in den Bestandsgebäuden und bie gewerblicher Nutzung ist nicht von Fußbodenheizung auszugehen. Bei zentraler Warmwasserbereitung in Mehrfamilienhäusern (Großanlagen) sind Temperaturen von > 60 °C vorgeschrieben.	- -
Anschlusszwang der Gebäudeeigentürmer an die kalte Schiene	Stadtwerke möchten hohe Anschlussquote an das Wärmenetz durch vertragliche Regelungen sicherstellen	++
guter Informationsstand der zukünftigen Bewohner über das geplante Projekt	kein Pilotprojekt, keine Nutzer-Zielgruppe mit speziellem energietechnischen Interesse, Informationsstand kann jedoch durch zusätzliche Öffentlichkeitsarbeit verbessert werden.	o
Wärmecontracting (Hauseigentümer kaufen Wärme zu marktüblichen Konditionen)	Contracting als Möglichkeit gegeben	++
Vorhandensein einer geeigneten Wärmequelle (industrielle Abwärme, Wasser, Erdwärmenutzung)	Keine Niedertemperatur-Wärmequelle erkennbar (z. B. Industrie, Haupt-Abwasserkanal, Fläche für Erdkollektor)	-

Die Übersicht zeigt, die Mischung von Bestands- und Neubauten eine signifikante Restriktion für die Umsetzung einer kalten Fernwärme im Heilig-Kreuz-Areal darstellt.

Eine detaillierte Untersuchung der Verfügbarkeit von Niedertemperatur-Wärmequellen ist im Umfang dieser Untersuchung nicht enthalten. Qualitativ lässt sich jedoch folgendes feststellen:

- Im Rahmen des Wärmemasterplans wurde im Umfeld des HKA keine relevante Industrieabwärmequelle identifiziert.
- Erdwärme: für die Gewinnung von Umweltwärme über Erdkollektoren wird eine große, möglichst ungenutzte Freifläche benötigt (unbebaut, nicht mit tiefen Pflanzen bepflanzt). Eine solche Fläche ist im Umfeld des HKA nicht erkennbar.
- Abwärme aus Abwasser: Die zentrale Kläranlage liegt im Westen der Stadt, die größten Abwärmepotenziale aus Abwasser sind dort zu vermuten.
- Umweltwärme aus großen Gewässern: Der Rhein als mögliche Wärmequelle in der Stadt Mainz erscheint zu weit entfernt vom Heilig-Kreuz-Areal.

Im Ergebnis lässt sich festhalten, dass das HKA vor allem aufgrund der fehlenden Niedertemperatur-Wärmequelle für den Aufbau einer kalten Fernwärme keine besondere Eignung aufweist.

4.8 Übersicht Fördermöglichkeiten

In den folgenden Übersichten sind aktuelle Fördermöglichkeiten durch BAFA, KfW und Programmen des Landes Rheinland-Pfalz für Holzpelletkessel, solarthermische Kollektoren und Wärmepumpen mit Erdsonden dargestellt (Stand Ende Juni 2016). Die Auflistung gibt einen Überblick, im Einzelfall sind jeweils die detaillierten Förderbestimmungen zu prüfen.

Tabelle 19: Übersicht über Fördermöglichkeiten

Versorgungsvariante	**Nahwärmeversorgung über Holzpelletkessel**	
Gesamtwärmebedarf	**17 GWh/a** (Endausbau, inkl. Verteilungsverlusten)	
Erzeugerleistung	**11,6 MW_{th}** (1x2 MW_{th}, 3x3,2 MW_{th}, 1x3,2 MW_{th} Reserve)	
Förderverfahren	KfW-Programm Erneuerbare Energien, Programmteil Premium [1]	Bei Errichtung/Erweiterung u.a. automatisch beschickter Anlagen mit mehr als 100 $kW_{th,N}$ unter Berücksichtigung der technischen Fördervoraussetzungen: ▪ **Basisförderung** in Form eines Tilgungszuschusses von bis zu 20 €/$kW_{th,N}$ (max. 50.000 €) ▪ Kumulierbare **Innovationsförderung** bis zu 30 €/$kW_{th,N}$ bei niedrigen Staubemissionen oder Einsatz eines Pufferspeichers Zusätzlich **Tilgungszuschuss** von bis zu 60 €/m_{Trasse} und **Nettoinvestitionskostenzuschuss** bis zu 1800 € je Hausübergabestation (max. 1.000.000 €) bei Einhaltung der entsprechenden Fördervoraussetzungen
	Zukunftsfähige Infrastruktur[2]	Bei Errichtung von Biomassefeuerungsanlagen, einschließlich Anlagen zur Brennstoffzuführung und -lagerung sowie dem Bau und Ausbau von Wärmenetzen zur direkten Wärmeversorgung von mind. zwei Gebäuden (...): ▪ 12% Zuschuss zu zuwendungsfähigen Ausgaben Zuwendungsfähige Ausgaben sind u.a. Anschaffungs- bzw. Herstellungskosten einschließlich der notwendigen Planungs- und Ingenieursdienstleistungen bis zu einer Höhe von 5.000.000 €, i.A. mind. 100.000 € Investitionsaufwendungen erforderlich
	Zinszuschüsse für Investitionen im Bereich der Energieeffizienz und der Energieversorgung einschließlich der Erneuerbaren Energien[3]	Bei Errichtung von Biomassefeuerungsanlagen, einschließlich Anlagen zur Brennstoffzuführung und -lagerung: ▪ Degressive Zinszuschüsse mit einer Laufzeit von sieben Jahren Förderfähig sind Anschaffungs- bzw. Herstellungskosten einschließlich der notwendigen Planungs- und Ingenieursdienstleistungen bis zu einer Höhe von 5.000.000 €, i.A. mind. 30.000 € Investitionsaufwendungen erforderlich

Versorgungsvariante	**Dezentrale Versorgung über Erdgasbrennwertkessel sowie Solarkollektoren**	
Gesamtwärmebedarf	**15,3 GWh/a** bzw. **351 MWh/a** für Typgebäude (85% Erdgasanteil, 15% Solar)	
Förderverfahren	BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle)-Investitionszuschüsse (1)	Bei Errichtung/Erweiterung von Solarkollektoranlagen u.a. zur Warmwasserbereitung unter Berücksichtigung der technischen Fördervoraussetzungen sowie (Mindest-)Anforderungen: ▪ **Basisförderung** bis max. 40 m² Bruttokollektorfläche zwischen 50 €/m² und 140 €/m² je nach Verwendungszweck, mind. 500 € bzw. 2000 € ▪ **Kombinationsbonus** bis 500 € durch Anschluss an Wärmenetz oder gleichzeitigem Austausch eines Heizkessels ohne Brennwerttechnik durch Erdgasbrennwertkessel ▪ **Innovationsförderung**, größenabhängig (Anlagen zwischen 20 m² und 100 m² Bruttokollektorfläche) zwischen 75 €/m² und 200 €/m² je nach Verwendungszweck bzw. ertragsabhängig basierend auf dem jeweils ausgewiesenen Kollektorertrag multipliziert mit der Anzahl der Solarmodule*0,45 € Ggf. **Zusatzförderung**
	KfW-Programm Erneuerbare Energien, Programmteil Premium (1)	Bei Errichtung/Erweiterung von Solarkollektoranlagen mit mehr als 40 m² Bruttokollektorfläche u.a. zur Warmwasserbereitung unter Berücksichtigung der technischen Fördervoraussetzungen: ▪ **Innovationsförderung**, größenabhängiger Tilgungszuschuss bis zu 30% der Nettoinvestitionskosten (bis zu 40% der Nettoinvestitionskosten bei überwiegender Einspeisung in ein Wärmenetz mit mind. vier Abnehmern) bzw. ertragsabhängig basierend auf dem jeweils ausgewiesenen Kollektorertrag multipliziert mit der Anzahl der Solarmodule*0,45 €
	Zukunftsfähige Infrastruktur(2)	Bei Errichtung von thermischen Solaranlagen entsprechender Mindestanforderungen (sofern nicht der Erfüllung der Vorgaben des EEG-WG dienend): ▪ 12% Zuschuss zu zuwendungsfähigen Ausgaben Zuwendungsfähige Ausgaben sind u.a. Anschaffungs- bzw. Herstellungskosten einschließlich der notwendigen Planungs- und Ingenieursdienstleistungen bis zu einer Höhe von 5.000.000 €, i.A. mind. 100.000 € Investitionsaufwendungen erforderlich
	Zinszuschüsse für Investitionen im Bereich der Energieeffizienz u. der Energieversorgung einschl. der Erneuerbaren Energien(3)	Bei Errichtung von Solarthermieanlagen inklusiv zugehöriger Wärmespeicher: ▪ Degressive Zinszuschüsse mit einer Laufzeit von sieben Jahren Förderfähig sind Anschaffungs- bzw. Herstellungskosten einschließlich der notwendigen Planungs- und Ingenieursdienstleistungen bis zu einer Höhe von 5.000.000 €, i.A. mind. 30.000 € Investitionsaufwendungen erforderlich

Versorgungsvariante	**Dez. Versorgung über Wärmepumpe (Erdwärmesonde mit Tiefenbohrung)**	
Wärmebedarf	**351 MWh/a** und **170 kW_{th}** für Typgebäude	
Förderverfahren	BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle)-Investitionszuschüsse (1)	Bei Einrichtung von Wärmepumpen bis 100 $kW_{th,N}$ u.a. zur kombinierten Warmwasserbereitung und Raumheizung unter Berücksichtigung der technischen Fördervoraussetzungen sowie (Mindest-)Anforderungen: ▪ **Basisförderung** bis 100 €/$kW_{th,N}$, mind. zwischen 4000 € und 4500 € je nach Verwendungszweck ▪ **Förderung** bis 500 € bei Lastmanagementfähigkeit ▪ **Kombinationsbonus** bis 500 € durch Anschluss an Wärmenetz ▪ **Innovationsförderung** bis zu einer um 50% erhöhten Basisförderung für Bestandsgebäude (abhängig von Jahresarbeitszahl/Systemeffizienz) ▪ Ggf. **Zusatzförderung**
	KfW-Programm Erneuerbare Energien, Programmteil Premium (1)	Bei Errichtung/Erweiterung von Wärmepumpen u.a. zur kombinierten Warmwasserbereitung und Bereitstellung des Heizwärmebedarfs mit mehr als 100 $kW_{th,N}$ unter Berücksichtigung der technischen Fördervoraussetzungen: ▪ **Tilgungszuschuss** von bis zu 80 €/$kW_{th,N}$ (mind. 10.000 €, max. 50.000 € je Einzelanlage) sowie 4 €/m vertikale Tiefe für Erdsonde (bis 400 m vertikale Tiefe unter Geländeoberkante)
	Zukunftsfähige Infrastruktur(2)	Bei Errichtung von effizienten Wärmepumpenanlagen entsprechender Mindestanforderungen (sofern nicht der Erfüllung der Vorgaben des EEG-WG dienend): ▪ 12% Zuschuss zu zuwendungsfähigen Ausgaben Zuwendungsfähige Ausgaben sind u.a. Anschaffungs- bzw. Herstellungskosten einschließlich der notwendigen Planungs- und Ingenieursdienstleistungen bis zu einer Höhe von 5.000.000 €, i.A. mind. 100.000 € Investitionsaufwendungen erforderlich
	Zinszuschüsse für Investitionen im Bereich der Energieeffizienz und der Energieversorgung einschließlich der Erneuerbaren Energien(3)	Bei Errichtung von Wärmepumpenanlagen mit einer Arbeitszahl größer als 3,5 einschließlich der Anlagen zur Gewinnung und Übergabe der Wärme: ▪ Degressive Zinszuschüsse mit einer Laufzeit von sieben Jahren ▪ Förderfähig sind Anschaffungs- bzw. Herstellungskosten einschließlich der notwendigen Planungs- und Ingenieursdienstleistungen bis zu einer Höhe von 5.000.000 €, i.A. mind. 30.000 € Investitionsaufwendungen erforderlich

(1) Auszüge aus den Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt
(2) Auszüge aus der Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz
(3) Auszüge aus der Förderrichtlinie „Zinszuschüsse für Investitionen im Bereich der Energieeffizienz und der Energieversorgung einschließlich der Erneuerbaren Energien" Rheinland-Pfalz

5. Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden insgesamt vier Wärmeversorgungslösungen für das Heilig-Kreuz-Areal (HKA) hinsichtlich ihrer technisch-wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen untersucht und bewertet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 20 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 20: Ergebnisübersicht der Varianten

Variante	*PEF* [kWh PE/ kWh NE]	*Anteil EE* [%]	*Anteil KWK* [%]	*spez. CO_{2e}-Emissionen* [kg/MWh]	*direkte Staub-Emissionen* [kg/MWh]	*spez. Wärmegestehungskosten, netto* [€/MWh]
Variante A	0,45	20	44	133	1,8	96
Variante B	0,49	0	63	121	1,9	94
Variante C	0,31	100	0	48	84,6	116
Variante D	0,98	15	0	223	0,9	68

Bei **Variante A** kann durch den Verbund mit der Berliner Siedlung die Erzeugungsinfrastruktur flexibler genutzt werden. Für diese Variante ist der Bau einer Transportleitung und einer zusätzliche Heizzentrale im HKA (im 1. Bauabschnitt) notwendig. Für Variante A sprechen der gute Primärenergiefaktor, die niedrigen Staubemissionen und der 20%-Anteil an erneuerbarer Wärme. Preislich liegt Variante A im Mittelfeld.

Variante B hat sowohl im Bereich Ökologie als auch bei den Energiekosten ähnliche Kennwerte wie Variante A, weist aber keinen Anteil erneuerbarer Wärme auf, sondern ist eine rein fossile Variante.

Variante C basiert zu 100 % auf erneuerbarer Energie und weist entsprechend vorteilhafte Kennwerte für CO_{2e}-Emissionen und Primärenergie auf. Kostenseitig liegt sie jedoch höher als die anderen Varianten, u. a. weil die erneuerbare Spitzenlast hier kostentreibend wirkt. Durch den Einsatz von Holz als Brennstoff entstehen erheblich höhere Staubemissionen als in den gasbasierten Varianten A, B und D, sodass die Pellet-Option aus Sicht der Luftreinhaltung deutliche Nachteile hat.

Variante D zeichnet sich durch niedrige Energiekosten aus. Da Kosten für die Gebäudehülle nicht in die Untersuchung eingeflossen sind, wird die Kostenstruktur von Variante D stark durch den aktuell niedrigen Gaspreis beeinflusst. Dieser ist zwischen 2013 und 2015 um rund 25 % gesunken (DESTATIS 2016). Variante D hat jedoch als Option ohne KWK einen deutlich höheren Primärenergiefaktor und höhere CO_{2e}-Emissionen als die Varianten A – C. Hier besteht das Risiko, dass ein energetisch stärker optimiertes Gebäude errichtet werden muss. In diesem Fall ist für den Neubau im Vergleich zu den übrigen Varianten mit einer höheren Kostenbelastung für den Bauherren und ggf. für den Mieter zu rechnen.

Die Anforderungen an das EEWärmeG können mit allen Varianten eingehalten werden.

Alle Varianten ermöglichen durch modularen Aufbau Entwicklungsflexibilität hinsichtlich der Aufsiedelung in zwei Bauphasen im Heilig-Kreuz-Areal.

Die durch den Nahwärmeverbund geschaffene Wärmeinsel in Variante A besitzt eine Größenordnung, die einen späteren Anschluss an die Fernwärme als Option anbietet.

Keine der Varianten erzielt bei allen Kriterien Bestwerte. Für die Entscheidung über eine Vorzugsvariante müssen die Kriterien gewichtet werden.

Die zukünftige Wärmeversorgung im Heilig-Kreuz-Areal soll möglichst umweltfreundlich und nachhaltig und zugleich kostengünstig sein („Bezahlbares Wohnen nach Maß"). Liegt der Fokus auf einem hohen Anteil erneuerbarer Wärme, wäre Variante C (Pellets) der Favorit. Liegt der Fokus auf dem Energiepreis, ist aktuell die Variante D (Gaskessel + Solar) attraktiv. Variante A (Nahwärmeverbund Berliner Siedlung und Heilig-Kreuz-Areal) bietet einen Kompromiss, bei dem die Kriterien Ökologie und Bezahlbarkeit[7] Berücksichtigung finden.

Leimen, den 05.08.2016

Susanne Ochse

Susanne Ochse

GEF Ingenieur AG

[7] Laut Angaben des Betreibers reflektiert der für die Berliner Siedlung angesetzte Wärmepreis, der der Wirtschaftlichkeitsrechnung zugrunde liegt, noch nicht den Gaspreisrückgang der letzten Jahre. Die Preisanpassung für die Berliner Siedlung (auf Basis der Preisgleitklausel) läuft der Entwicklung der Brennstoff-Marktpreise um zwei Jahre nach.

6. Literaturverzeichnis

[AGFW 2014] AGFW (2014): Arbeitsblatt AGFW FW 309 Teil 1: Energetische Bewertung von Fernwärme. Bestimmung der spezifischen Primärenergiefaktoren für Fernwärmeversorgungssysteme. Frankfurt am Main.

[ASUE 2014a] ASUE – Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (2014): BHKW-Kenndaten 2014/2015: Module, Anbieter, Kosten. Berlin.

[ASUE 2014b] ASUE – Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (2014): EnEV 2014 für Wohngebäude. Berlin.

[BDEW 2011] BDEW, VKU, GEODE (2011): Leitfaden Abwicklung von Standardlastprofilen Gas, Berlin. Online unter: https://www.bdew.de/internet.nsf/id/588AD9E65B7F3DBAC1257A2A00348DE4/$file/LF-Abwicklung-von-Standardlastprofilen-Gas_20110630_final.pdf.

[DESTATIS 2016] Destatis – Statistisches Bundesamt (2016): Preise: Indes der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte (Inlandsabsatz) nach dem Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken, Ausgabe 2009 (GP 2009). Wiesbaden.

[IFEU 2009] Ifeu, Wuppertal-Institut et al. (2009): Energiebalance – Optimale Systemlösungen für erneuerbare Energien und Energieeffizienz. Endbericht FKZ 0327614, März 2009

[IFEU 2014] Ifeu (2014): Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland. Online unter: https://www.ifeu.de/energie/pdf/Bilanzierungsmethodik_IFEU_April_2014.pdf.

[IFEU 2014b] Ifeu, Ecofys, dena et al. (2014): 100 % Wärme aus erneuerbaren Energien? Auf dem Weg zum Niedrigstenergiehaus im Gebäudebestand. Endbericht Band 2 FZK 0325358A, 2014

[IWU 2015] Institut Wohnen und Umwelt (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden – zweite erweiterte Auflage. Online unter: http://www.iwu.de/forschung/energie/abgeschlossen/tabula/

[GEF 2015] GEF Ingenieur AG (2015): Wärmemasterplan Mainz. Endbericht. Unveröffentlichtes Dokument.

[GEMIS 4.9] Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.9.4. Institut für angewandte Ökologie. Online unter: http://www.iinas.org/gemis-download-de.html

[LGB 2016] Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (2016): Online-Karte für Flache Geothermie – Standortbewertung zum Bau von Erdwärmesonden. Online unter: http://www.lgb-rlp.de/online-karten.html (Zugriff 6.7.2016)

[Stadt Mainz 2014] Stadt Mainz [Hrsg.] (2014): Rahmenplan Heiligkreuz-Areal: Erläuterungsbericht. Online unter: https://www.mainz.de/verwaltung-und-politik/buergerservice-online/neues-wohnquartier-heiligkreuz-areal.php.

[StMUG et al. 2011] StMUG, StMWIVT, OBB – Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie & Oberste Behörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (2011):

Leitfaden Energienutzungsplan. Online unter: http://www.energieatlas.bayern.de/kommunen/energienutzungsplan.html.

[UM 2012] UM – Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2012): Merkblatt zum Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) des Bundes für Neubauvorhaben. Online unter: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Energieeffizienz/EEWaermeG_Bund/Merkblatt_zum_EEWaermeG_des_Bundes.pdf.

[VDI 3807] VDI – Verein Deutscher Ingenieure [Hrsg.] (2013): VDI-Richtlinie 3807 Blatt 1:2013-06: Verbrauchskennwerte für Gebäude - Grundlagen. Berlin. Beuth Verlag.

[VIESSMANN 2015] Viessmann [Hrsg.] (2015): Fachreihe EnEV 2014: Heizsysteme. Allendorf.

7. Anhang

7.1 Berechnungsgrundlagen Wärmebedarfsabschätzung

Thermal Insulation Measures — **U-values**

building variant DE.N.MFH.12.Gen.ReEx.001.001 construction year 2016 ...
description national minimum requirements, gas boiler + thermal solar system

		Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Floor 1	Floor 2	Window 1	Window 2	Door 1	
envelope area	A_{env}	321	0	1123	0	0	0	321	244	0	48	m²

Construction Types

code		(see below)		(see below)				(see below)	(see below)		(see below)	
U-value original state	$U_{original}$											W/(m²K)
included insulation thickness	$d_{ins,included}$											mm
border type		Ext		Ext				Soil				
additional thermal resistance of unheated spaces	R_{add}	0.00		0.00				0.00				m²K/W
effective U-value original state	$U_{original,effective}$								0.00			W/(m²K)

Refurbishment Measures

code		DE.Roof.FlatRoofInsulation20cm.01		DE.Wall.Masonry-Insulation12cm				DE.Floor.Slab-Insulation12cm.01	DE.Window.3s-LowE-Arg.01		DE.Door.Insulated.02	
thermal resistance of predefined measure	$R_{measure,predef}$	5.71		3.61				3.50				m²K/W
insulation thickness of predefined measure	$d_{insulation,predef}$	200		120				120				mm
actual insulation thickness	$d_{insulation}$	139		115				118				mm
thermal resistance of actual measure	$R_{measure}$	3.96		3.46				3.46	0.91		0.77	m²K/W
effective thermal conductivity (indicative)	$\lambda_{insulation,effective}$	0.04		0.03				0.03				W/(m²K)

Resulting U-values

type of refurbishment		Replace		Replace				Replace	Replace		Replace	
thermal resistance before measure	R_{before}	0.00		0.00				0.00	0.00		0.00	m²K/W
after measure	$R_{measure,new}$	3.96		3.46				3.46	0.91		0.77	m²K/W
U-value of refurbished area fraction	$U_{measure,new}$	0.25		0.29				0.29	1.10		1.30	W/(m²K)
area fraction of measure	$f_{measure}$	100%		100%				100%	100%		100%	
resulting U-value of construction element	U_{actual}	0.25		0.29				0.29	1.10		1.30	W/(m²K)

Abbildung 12: U-Werte Gebäudetyp "MFH_L" Mindestanforderungen EnEV 2016

Thermal Insulation Measures — U-values

building variant DE.N.MFH.12.Gen.ReEx.001.003 construction year 2016 ...
description passive house / gas CHP + thermal solar system + ventilation system with heat

		Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Floor 1	Floor 2	Window 1	Window 2	Door 1	
envelope area	$A_{env,i}$	321	0	1193	0	0	0	321	244	0	45	m²

Construction Types

code		(see below)		(see below)				(see below)	(see below)		(see below)	
U-value original state	$U_{original,i}$											W/(m²K)
included insulation thickness	$d_{insulation,included,i}$											mm
border type		Ext		Ext				Soil				
additional thermal resistance of unheated spaces	$R_{add,i}$	0.00		0.00				0.00				m²K/W
effective U-value original state	$U_{original,effective,i}$								0.00			W/(m²K)

Refurbishment Measures

code		DE.Roof.FlatRoofInsulation30cm.02		DE.Wall.Masonry-Insulation24cm				DE.Floor.Glaso-Insulation24cm.01	DE.Window.3pInsulatedFrame.03		DE.Door.Insulated.03	
thermal resistance of predefined measure	$R_{measure,predef,i}$	9.35		7.04				6.93				m²K/W
insulation thickness of predefined measure	$d_{insulation,predef,i}$	300		240				240				mm
actual insulation thickness	$d_{insulation,i}$	400		284				288				mm
thermal resistance of actual measure	$R_{measure,i}$	12.50		5.33				5.33	1.43		1.25	m²K/W
effective thermal conductivity (indicative)	$\lambda_{insulation,effective,i}$	0.03		0.03				0.03				W/(mK)

Resulting U-values

type of refurbishment		Replace		Replace				Replace	Replace		Replace	
thermal resistance before measure	$R_{before,i}$	0.00		0.00				0.00	0.00		0.00	m²K/W
after measure	$R_{measure,result,i}$	12.50		5.33				5.33	1.43		1.25	m²K/W
U-value of refurbished area fraction	$U_{measure,result,i}$	0.05		0.12				0.12	0.70		0.80	W/(m²K)
area fraction of measure	$f_{measure,i}$	100%		100%				100%	100%		100%	
resulting U-value of construction element	$U_{actual,i}$	0.05		0.12				0.12	0.70		0.80	W/(m²K)

Abbildung 13: U-Werte Gebäudetyp "MFH_L" Passivhausstandard

7.2 Jahresdauerlinien

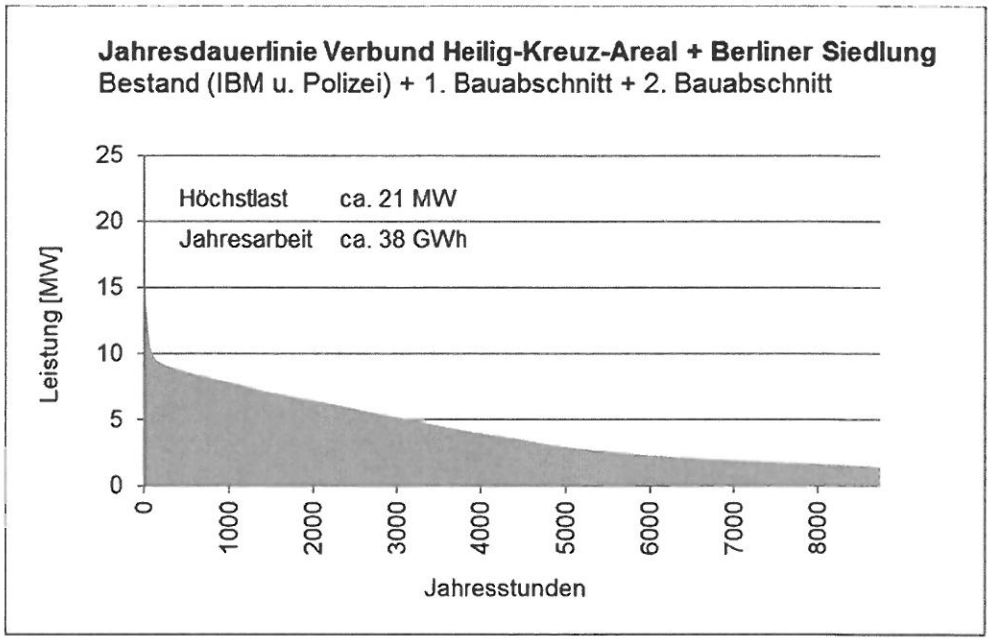


Abbildung 14: Jahresdauerlinie Verbundvariante BS + HKA

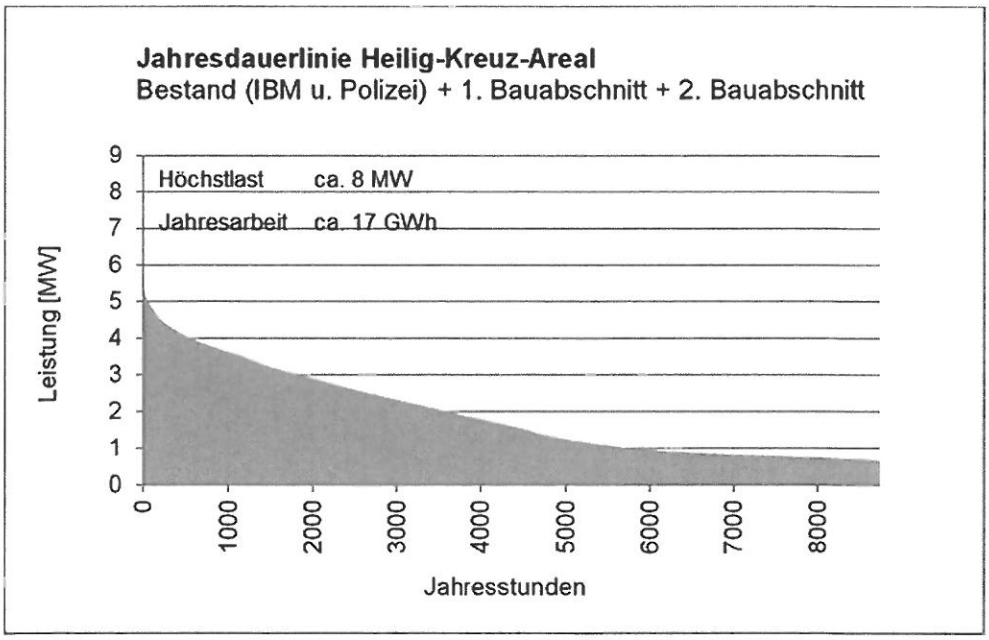


Abbildung 15: Jahresdauerlinie Heilig-Kreuz-Areal

7.3 Erzeugereinsatzreihenfolgen

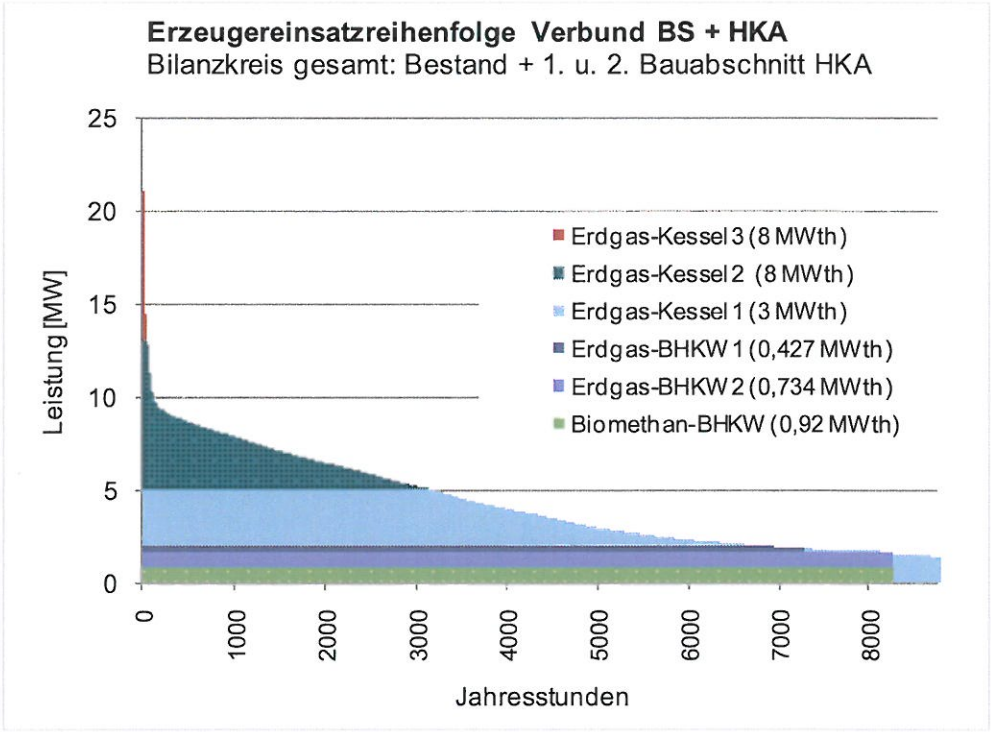


Abbildung 16: Erzeugereinsatzreihenfolge Variante A

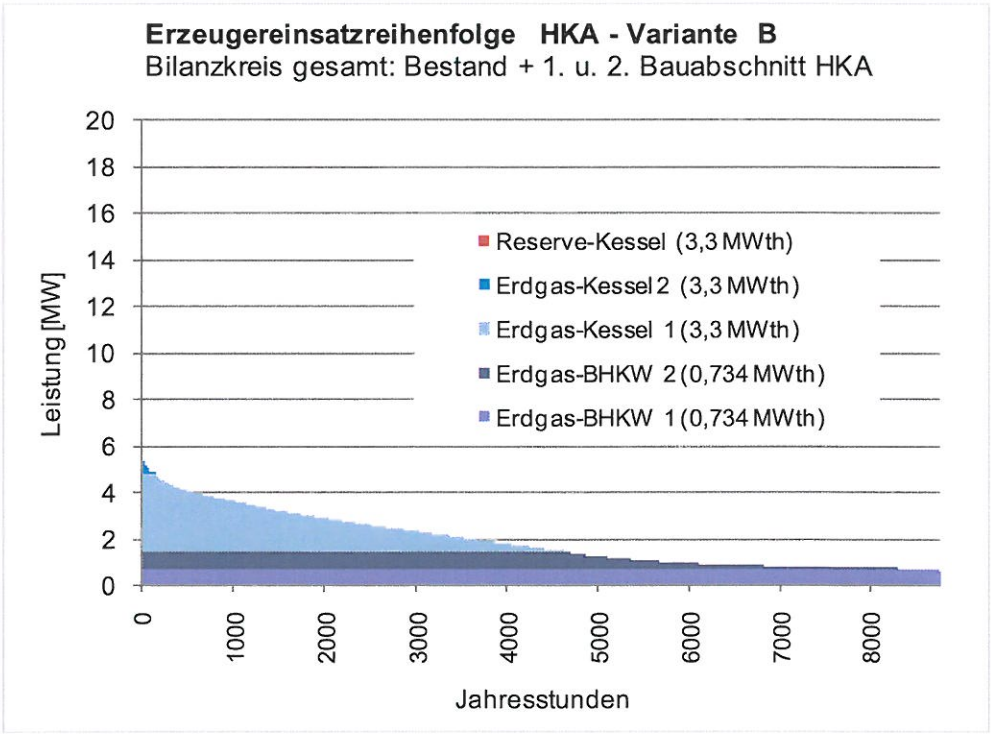


Abbildung 17: Erzeugereinsatzreihenfolge Variante B

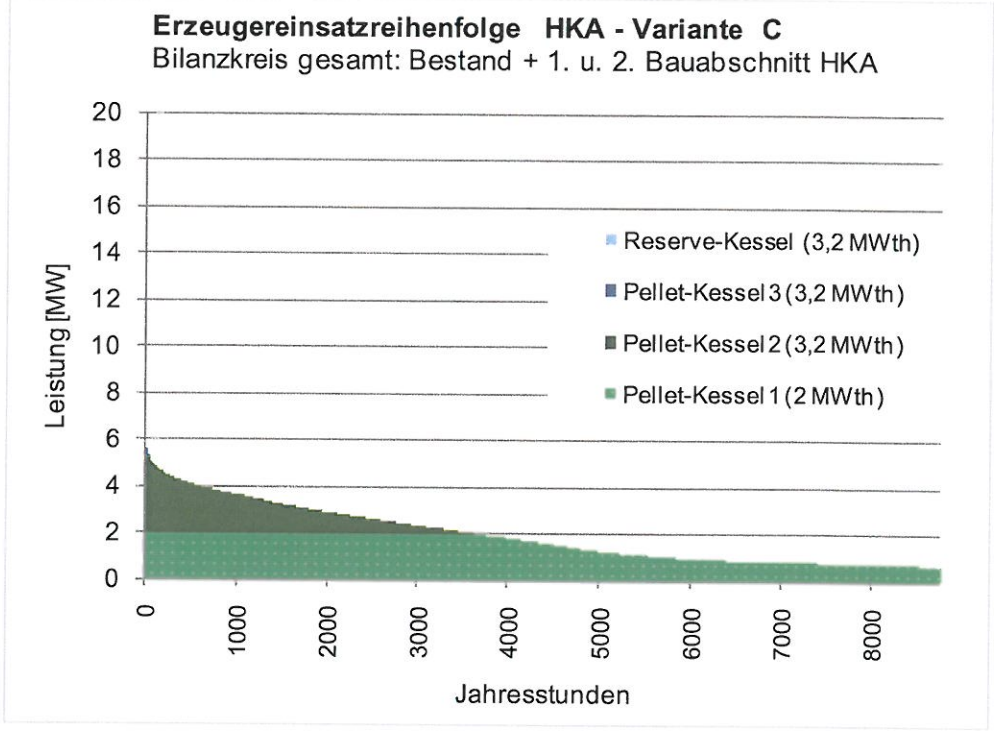


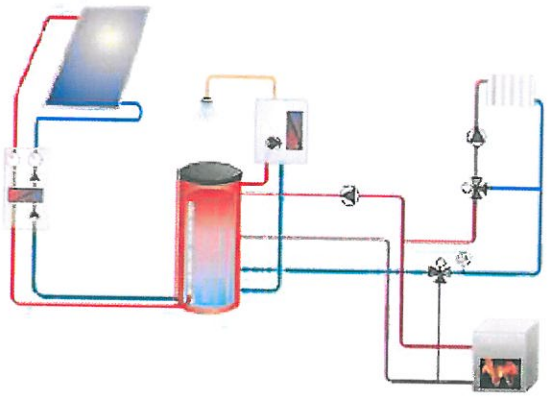
Abbildung 18: Erzeugereinsatzreihenfolge Variante C

7.4 Berechnung der Firma Solvis

SOLVIS GmbH

Projektübersicht

Projekt	P999-814 Mainz V-SWMZ-004
Zuletzt geändert am	20.01.2016 14:51:05
Programm Version	GetSolar Professional 11.5.4



Klimadaten	Normstandort Potsdam
Globalstrahlung	1074,5 kWh/(m²a)
Gebäudenutzfläche	6340,0 m²
Kollektor	
Bruttofläche	84,1 m²
Apertur	82,6 m²

Projekt: P999-814 Mainz V-SWMZ-004

Simulation nach EnEV / DIN 4701-10

Klimastandort	Normstandort Potsdam geogr. Breite 52,4°
Kollektor	82,6 m², SolvisFera F-652-D-AR
Kennlinie	eta0 = 0,831 a1 = 3,520 W/m²K a2 = 0,0167 W/m²K²
IAM 50°	0,94 spez. Wärmekap.: 4,80 kJ/m²K
Neigung	45,0° Azimut: 0,0°
Anlagentyp	Pufferspeicher + FWM - "Kleine Anlage"
Nutzfläche A_N	6340,0 m²

Warmwasser

q TW	12,50 kWh/m²a
q TW,d	6,30 kWh/m²a
q TW,s	0,20 kWh/m²a

Heizung

q	31,31 kWh/m²a
q h,tw (-)	2,92 kWh/m²a
q c,e	1,10 kWh/m²a
q d	1,20 kWh/m²a

Q TW,sol	37102 kWh/a
Q TW	120435 kWh/a
alpha TW,sol	0,31

Solaranlage zur Heizungsunterstützung (Kombianlage)

mit weniger als	176,3 m² (vgl. DIN 4701-10, Kap. 5.3.4.1.3)
Q H g,sol	15983 kWh/a solare Heizgrenze 10°C
Q H	194575 kWh/a
alpha H g,sol	0,08

Q sol,sim:	53086 kWh/a
Q outg,sim,ref:	315009 kWh/a
alpha sol,sim:	0,17

q TW,g,HE,sol	0,01 kWh/m²a (Hilfsenergiebedarf Solarpumpe, Trinkwasser)
q H,g,HE,sol	0,00 kWh/m²a (Hilfsenergiebedarf Solarpumpe, Heizung)

Projekt: P999-814 Mainz V-SWMZ-004

Energiebilanz - DIN 4701-10

Klimastandort	**Normstandort Potsdam geogr. Breite 52,4°**
Kollektor	**82,56 m² (12 Stk) SOLVIS SolvisFera F-652-D-AR**
Kennlinie	eta0 = 0,831 a1 = 3,520 W/(m²·K) a2 = 0,0167 W/(m² K²) [Solar Keymark]
Neigung	45,0° Südabweichung: 0,0°
Anlagentyp	**Pufferspeicher und Frischwassererwärmer**
Solarkreis	ext. Wärmetauscher mit Schichtladerohr
Pufferspeicher	3626 Liter
	Temperatur : max. 90°C
Heizkreisanbindung	Rücklaufanhebung - nur bei ausreichender Puffertemperatur unten
Wärmebedarf	217,12 kWh/Tag = 3734 Liter/Tag von 10°C auf 60°C
	109,43 kWh/Tag Zirkulation, mittl. Rücklauftemperatur 55 °C
	194,57 MWh/Jahr Heizwärmebedarf
Solares Heizen	bei T außen < 10°C Heizkreis: 55/45°C, 169 kW bei -12°C

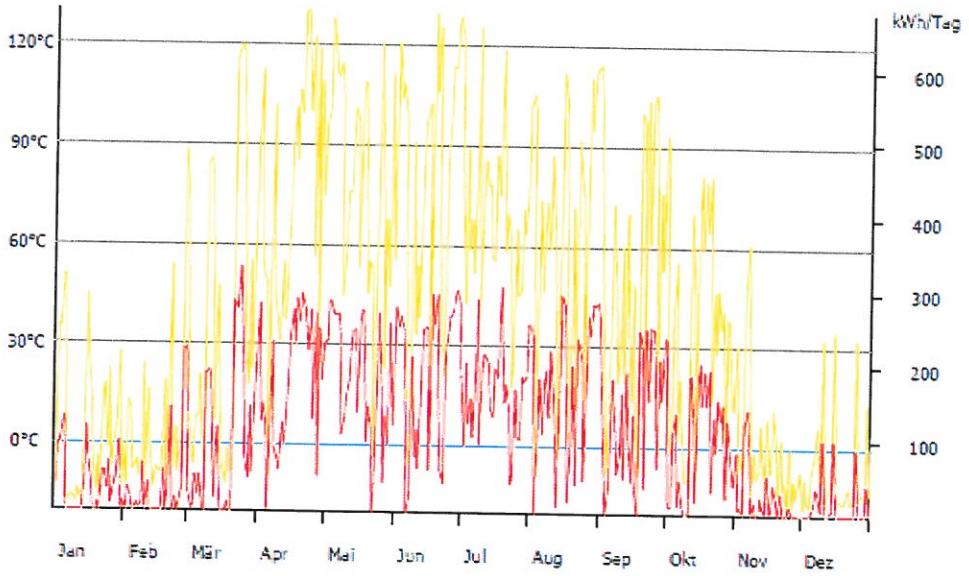
Monat	Solar-ertrag* [kWh]	Solares Heizen ** [kWh]	Ein-strahlung [kWh]	Nach-heizung [kWh]
Januar	1457	1175	3509	51200
Februar	2928	2329	3486	44421
März	4471	3092	8471	26574
April	6023	2707	13057	10808
Mai	6018	0	13903	4652
Juni	6091	0	13753	4230
Juli	5608	0	12642	5047
August	5763	0	12257	4912
September	4435	0	9725	5888
Oktober	3492	1252	7253	12121
November	3177	2423	2512	38882
Dezember	3621	3005	1796	53189
Summe	53086	15983	102365	261924

*: Solarertrag ermittelt aus Verminderung der Wärmeerzeuger-Nutzwärmeabgabe
**: Teil des Solarertrags

Projekt: P999-814 Mainz V-SWMZ-004

Jahreskurve

Kollektor 82,56 m² (12 Stk) **SOLVIS SolvisFera F-652-D-AR**
Neigung 45,0° Südabweichung: 0,0°



Einstrahlung auf Kollektor:
Anlagenleistung: