

Machbarkeitsstudie Wärmeplanung

3. Abschnitt Gewerbepark Northwest in Burgdorf

Auftraggeber

Stadt Burgdorf
Vor dem Hannoverschen Tor 1
31303 Burgdorf

Verfasser

target GmbH
HefeHof 8, 31785 Hameln

Oktober 2020
mit Ergänzungen vom 21.07.2021

Gefördert von:



Region Hannover

Inhalt

1. Ausgangssituation	3
2. Bestandsermittlung	3
2.1. Lage der Untersuchungsfläche	3
2.2. Platzbedarf der Varianten in der Untersuchungsfläche	4
2.3. Umgebung / bestehende Wärmequellen und Verteilernetze um die Untersuchungsfläche	4
2.4. sonstige örtliche Rahmenbedingungen	4
3. Untersuchung von energetischen Gebäudestandards	4
3.1. zu betrachtende Modellgebäude	4
3.2. Gebäudestandards und energetische Kennwerte	5
3.3. im Folgenden untersuchte Gebäude	6
3.4. Photovoltaik-Anlage	7
3.5. Investitionskosten	7
3.6. Endenergie und Vollkostenvergleich	9
3.7. CO ₂ -Emissionen	11
3.8. Fazit und Empfehlung	12
4. Untersuchung von Versorgungsvarianten	13
4.1. Luft-Wasser-Wärmepumpe	13
4.1.1. Investitionskosten	14
4.2. Endenergie und Vollkostenvergleich	15
4.2.1. CO ₂ -Emissionen	16
4.3. Sole-Wasser-Wärmepumpe	17
4.3.1. Investitionskosten	18
4.3.2. Endenergie und Vollkostenvergleich	18
4.3.3. CO ₂ -Emissionen	20
4.4. Nahwärmenetz mit Erdgas BHKW	21
4.4.1. technische Parameter	21
4.4.2. Investitionskosten	22
4.4.3. Betriebskosten	23
4.4.4. CO ₂ -Emissionen	25
4.4.5. Infrastruktur und weitere Voraussetzungen	26
4.5. Kaltes Nahwärmenetz mit Wasser-Wasser-Wärmepumpen	26
4.5.1. Betriebskosten	27
4.5.2. CO ₂ -Emissionen	27
4.5.3. Infrastruktur und weitere Voraussetzungen	28
5. Fazit	29

1. Ausgangssituation

Die Stadt Burgdorf möchte am nördlichen Stadtrand neue Flächen zur Gewerbeansiedlung entwickeln. Das zukünftige Gewerbegebiet befindet sich östlich der Lise-Meitner-Straße und der Otto-Hahn-Straße und schließt nach Westen an ein bereits erschlossenes und teilweise bebautes Gewerbegebiet an. Auf einer Fläche von 14 ha sollen ca. 41 Grundstücke entstehen. Spezifische Angaben über die konkrete Nutzung und Bebauung der Grundstücke sind nicht bekannt.

Ein Bestandteil des Planungsprozesses ist die Entwicklung einer Machbarkeitsstudie zur kommunalen Wärmeplanung, um die Energie- und speziell die Wärmeversorgung unter Berücksichtigung lokaler Erfordernisse systematisch und von Beginn an in strategische Konzepte und in die Bauleitplanung einzubeziehen. Damit soll eine Grundlage geschaffen werden, um die Möglichkeit einer innovativen und möglichst CO₂-freien Wärmeversorgung zu diskutieren und im späteren Planungsprozess zu konkretisieren und umzusetzen. Die Erstellung der Machbarkeitsstudie erfolgt nach den Inhalten und Vorgaben der Richtlinie über die finanzielle Förderung von Machbarkeitsstudien zur kommunalen Wärmeplanung in der Region Hannover (KWP-Richtlinie) der Region Hannover.

2. Bestandsermittlung

Im Rahmen der Bestandsermittlung wird die Untersuchungsfläche mit ihrer näheren Umgebung analysiert.

2.1. Lage der Untersuchungsfläche

Abb. 1 zeigt die Flächen des geplanten Baugebietes im nördlichen Bereich der Weststadt von Burgdorf. Das Gebiet wird nach Osten durch die Straße Am Güterbahnhof abgegrenzt. Nach Norden hin grenzt das Gebiet an die B188.



Abb. 1: Planbereich der Untersuchungsfläche

2.2. Platzbedarf der Varianten in der Untersuchungsfläche

Der Platzbedarf der dezentralen und zentralen Wärmeversorgungsvarianten wird jeweils bei der Beschreibung der einzelnen Varianten abgeschätzt und im jeweiligen Kapitel dargestellt.

2.3. Umgebung / bestehende Wärmequellen und Verteilernetze um die Untersuchungsfläche

Nach Westen hin grenzt ein Gewerbegebiet an die Untersuchungsfläche an, dessen Grundstücke seit einiger Zeit vermarktet werden. Einige Grundstücke sind bereits bebaut. Die Wärmeversorgung in diesem Gewerbegebiet findet dezentral statt. Wärmenetze sind in unmittelbarer Nähe zum geplanten Gewerbegebiet nicht vorhanden.

2.4. sonstige örtliche Rahmenbedingungen

Weitere örtliche Rahmenbedingungen, die im Zusammenhang mit der energetischen Erschließung des Baugebietes von Interesse sein könnten, sind nicht bekannt.

3. Untersuchung von energetischen Gebäudestandards

Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie sollen verschiedene zentrale und dezentrale Versorgungsvarianten untersucht werden. Diese Untersuchung muss allerdings unter Berücksichtigung der energetischen Gebäudestandards erfolgen, da Effizienz und Wirtschaftlichkeit von Versorgungssystemen vom Gebäudestandard abhängig sind. Deshalb werden im ersten Schritt verschiedene Gebäudestandards definiert und kostenseitig untersucht.

3.1. zu betrachtende Modellgebäude

Zum jetzigen Zeitpunkt ist unklar, welche Gebäude (Größe, Kubatur etc.) konkret gebaut werden und welche Nutzung stattfindet. Anders als in Wohngebäuden hat die Nutzung von Nichtwohngebäuden einen maßgeblichen Einfluss auf den späteren Wärme- und Strombedarf. So hat ein Bürogebäude einen anderen Energiebedarf als eine niedrig beheizte Lagerhalle oder eine energieintensive Produktionshalle. Da diese relevanten Parameter nicht bekannt sind, müssen Annahmen für Größe und Nutzung der entstehenden Gebäude getroffen werden. In Abstimmung mit der Stadt Burgdorf werden folgende typische Nutzungen in Anlehnung an das benachbarte Gewerbegebiet definiert:

- Lagerung (mit überwiegendem Anteil Kalthallen)
- Autohäuser mit stromintensiver Technik in Werkstätten
- Büronutzung
- Großhandel
- Handwerk
- kein produzierendes Gewerbe
- kein Logistikgewerbe

Außerdem wurden von der Stadt Burgdorf die folgenden Parameter für die Größe der Grundstücke und der bebauten Fläche festgelegt:

- eingeplante Größe der Grundstücke: 1.200 bis 20.000 m²
- erwartete typische Größe der Grundstücke: 2.000 bis 4.000 m²
- typischer Anteil der Bebauung: 40 %

Daraus ergeben sich mittlere bebaute Nutzflächen zwischen ca. 400 und 3.000 m². Allerdings ist zu erwarten, dass mit steigender Nutzfläche nicht das gesamte Gebäude voll beheizt wird. Stattdessen wird angenommen, dass es mit zunehmender Gebäudegröße auch einen zunehmenden Anteil niedrig oder gar nicht beheizter Flächen gibt. In der nachfolgenden Tabelle werden die angesetzten beheizten Flächen in Abhängigkeit zur gesamten Nutzfläche zusammengefasst.

Nutzfläche	Anteil beheizte Fläche
400 m ²	100 %
800 m ²	100 %
1.200 m ²	80 %
1.600 m ²	70 %
2.000 m ²	40 %
2.600 m ²	40 %
3.000 m ²	30 %

3.2. Gebäudestandards und energetische Kennwerte

Für die Machbarkeitsstudie werden insgesamt vier Gebäudestandards betrachtet. Neben dem Mindeststandard nach Energieeinsparverordnung (EnEV 2016, im Folgenden EnEV genannt) sind dies zwei Effizienzhaus-Standard nach KfW (KfW EH 55 und KfW EH 40) sowie der Passivhaus-Standard. Darüber hinaus werden zwei Ansätze für den zu erwartenden Stromverbrauch in den Gebäuden gemacht. Unter Berücksichtigung der oben genannten typischen Gewerbe im Quartier und der dafür charakteristischen Stromverbräuche wird ein niedriger Stromverbrauch mit 55 kWh/(m²a) und ein hoher Stromverbrauch mit 100 kWh/(m²a) festgelegt.

Die nachfolgende Tabelle fasst die zu Grunde gelegten spezifischen Kennwerte für Heizung, Trinkwarmwasser (TWW) und Strom in kWh/(m²a) zusammen.

	EnEV	KfW 55	KfW 40	Passivhaus
Heizung	65	41	26	15
TWW	18	18	18	18
Strom hoch	100	100	100	100
Strom niedrig	55	55	55	55

3.3. im Folgenden untersuchte Gebäude

Wie eingangs erwähnt, besteht eine große Unsicherheit hinsichtlich der im Baugebiet tatsächlich realisierten Gebäude, ihrer Kenngrößen und ihrer Nutzung. Im Rahmen dieser Studie ist es deshalb nicht leistbar, alle denkbaren Konstellationen zu betrachten und zu untersuchen. Stattdessen sollen auf Grundlage der oben genannten Annahmen die beiden folgenden charakteristischen Modellgebäude zu Grunde gelegt und bilanziert werden.

Gebäude mit 400 m² beheizter Nutzfläche (Typ A)	
Geschosse	2
Keller	nicht vorhanden
Außenwand	370 m²
Bodenplatte	200 m²
Flachdach	200 m²
Fenster	54 m²

Gebäude mit 800 m² beheizter Nutzfläche (Typ B)	
Geschosse	2
Keller	nicht vorhanden
Außenwand	465 m²
Bodenplatte	400 m²
Flachdach	400 m²
Fenster	84 m²

Andere Konstellationen können im Rahmen einer begleitenden Fachplanung entsprechend unseres Angebots im Nachhinein bei Bedarf betrachtet werden, sobald die Bebauung konkreter wird.

3.4. Photovoltaik-Anlage

Die Gebäudestandards KfW EH 40 und Passivhaus werden im Rahmen der Machbarkeitsstudie jeweils auch mit einer Solarstromanlage (PV-Anlage) mit Stromspeicher betrachtet. Dabei werden für die einzelnen Modellgebäude folgende Parameter zugrunde gelegt:

	Gebäude mit 400 m ² und niedrigem Stromverbrauch (Typ A)	Gebäude mit 800 m ² und hohem Stromverbrauch (Typ B)
Leistung [kW_p]	22	44
spezifischer Ertrag [kWh/kW_p]	962	962
Jahresertrag [kWh/a]	19.675	39.350
Eigenstromnutzung [%]	45	45
Kapazität Batteriespeicher [kWh/kW_p]	0,5	0,5
Summe Investitionskosten [EUR]	52.500	105.000

Die untersuchten Gebäude mit PV-Anlage werden in den dargestellten Grafiken als „KfW 40 Plus“ und „PH Plus“ bezeichnet.

3.5. Investitionskosten

Zunächst werden die Investitionskosten der zwei Modellgebäude für den EnEV-Standard ermittelt. Für die Anlagentechnik wird dazu die technische Referenzvariante mit einem Gas-Brennwertkessel und einer Solarthermie-Anlage zu Grunde gelegt. Die Kosten werden nach DIN 276 über die Kostengruppen 200 bis 700 abgeschätzt. Grundstückskosten werden nicht berücksichtigt. Für die Kostengruppen 300 und 400 (Bauwerkskosten) wird ein Kostensatz von 1.000 EUR je Quadratmeter zuzüglich der Kosten für den Wärmeerzeuger und die Solaranlage angesetzt. Im nächsten Schritt werden die energetisch bedingten Mehrkosten bauteilweise ermittelt. Die Ergebnisse werden nachfolgend exemplarisch für Typ A beschrieben.

Die oben dargestellte Kostenermittlung für Typ A im Standard nach EnEV mit Gas-Brennwertkessel und Solarthermie-Anlage ergibt Kosten in Höhe von 587.000 EUR. Mit besserem Standard erhöhen sich die Investitionskosten für z.B. dickere Dämmung. Absolut betragen die Mehrkosten damit ca. 13.000 EUR für das KfW EH 55, ca. 18.000 EUR für das KfW EH 40 und ca. 21.000 EUR für das Passivhaus. Für die Varianten mit Solarstrom-Anlagen werden Mehrkosten in Höhe von ca. 52.500 EUR angesetzt. Gleichzeitig kann für bessere Standards ein Tilgungszuschuss bei Finanzierung über die KfW-Bank in Anspruch genommen werden. Dieser beträgt fünf Prozent der förderfähigen Kosten bzw. 50 EUR je Quadratmeter Nutzfläche für die Standards ab KfW EH 55, also 20 TEUR für Typ A und 40 TEUR für Typ B. Die Zusammensetzung der Mehrkosten unter Berücksichtigung des Tilgungszuschusses kann der Abb. 2 entnommen werden. Die Summen der Investitionskosten - ohne Berücksichtigung des KfW-Tilgungszuschusses - für die einzelnen Gebäudestandards werden in Abb. 3 zusammengefasst.

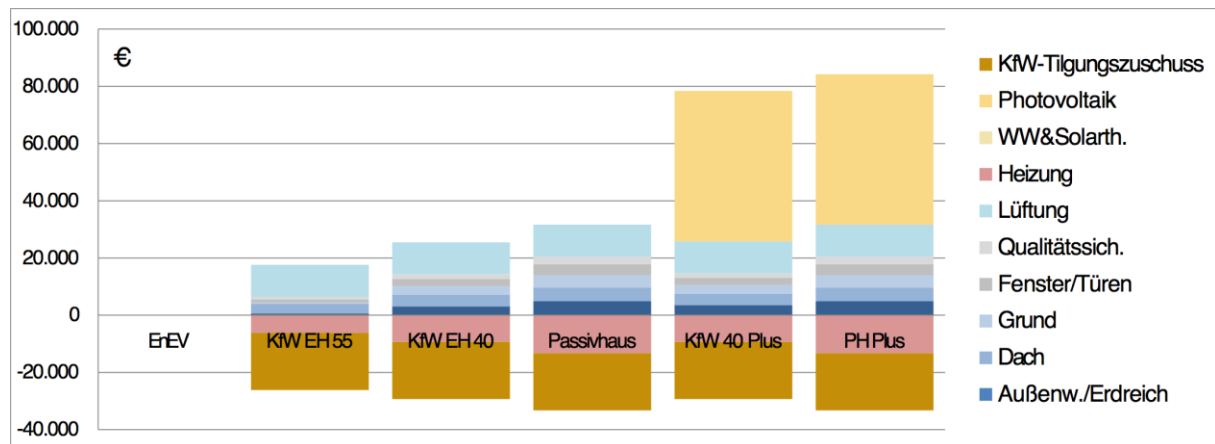


Abb. 2: Zusammensetzung der Mehrkosten für energetische Gebäudestandards für Typ A

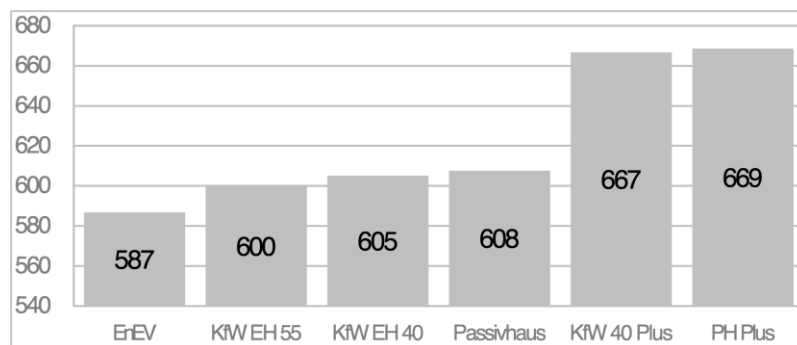


Abb. 3: Summe der Investitionskosten für Typ A in TEUR

Eine Zusammenstellung der Mehrkosten sowie der Investitionskosten des Typ B erfolgt in den Abb. 4 und 5.

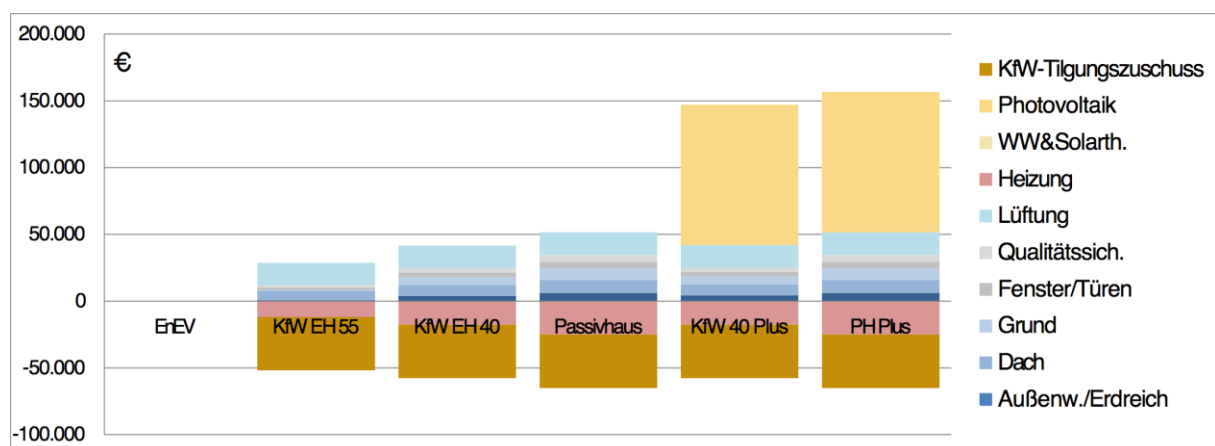


Abb. 4: Zusammensetzung der Mehrkosten für energetische Gebäudestandards für Typ B

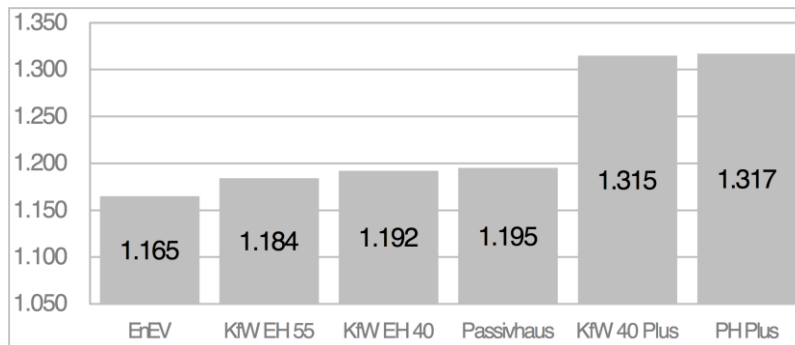


Abb. 5: Summe der Investitionskosten für Typ B in TEUR

3.6. Endenergie und Vollkostenvergleich

Je besser der Gebäudestandard, umso geringer ist der Endenergiebedarf. Während für Typ A im EnEV-Standard ein jährlicher Endenergiebedarf von 55.155 kWh anfällt, sinkt dieser beim KfW EH 55 auf 44.157 kWh und beim KfW EH 40 auf 36.865 kWh. Beim Passivhaus liegt der Endenergiebedarf nur noch bei 31.727 kWh. Mit einer PV-Anlage lässt sich der Endenergiebedarf noch weiter reduzieren: Beim KfW EH 40 auf 17.190 kWh und beim Passivhaus auf 12.052 kWh. Eine Übersicht der Endenergiebedarfe für die unterschiedlichen Standards ist in Abb. 6 ersichtlich.

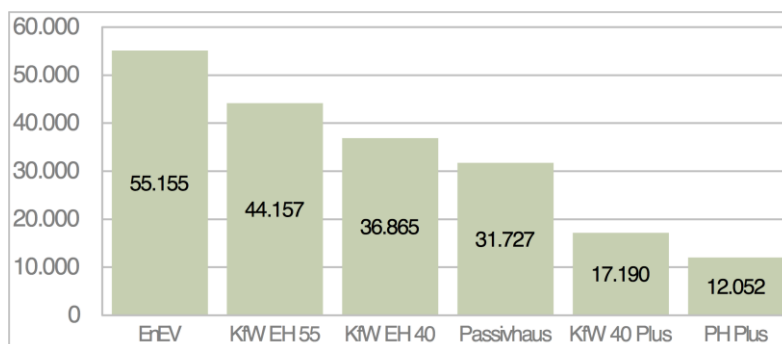


Abb. 6: Endenergiebedarf in kWh/a für Typ A

Durch den sinkenden Endenergiebedarf reduzieren sich die Betriebskosten bei den gegenüber der EnEV verbesserten Standards. In Abb. 7 sind die monatlichen Vollkosten der untersuchten Energiestandards dargestellt. Darin sind die Barwerte der Investitionskosten über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren sowie Betriebskosten und Kosten für Wartung und Instandhaltung der Anlagentechnik enthalten. Aus der Abbildung wird deutlich, dass die erhöhten einmaligen Investitionskosten für die besseren Standards und sogar für die PV-Anlagen durch geringere Betriebskosten über den gesamten Betrachtungszeitraum von 50 Jahren kompensiert werden. Während für Typ A im EnEV-Standard monatlich 2.216 EUR zu leisten sind, beträgt die monatliche Belastung beim KfW EH 40 nur noch 2.076 EUR. Beim Bau eines Passivhauses mit PV-Anlage entsteht ein jährlicher Kostenvorteil von ca. 4.300 EUR.

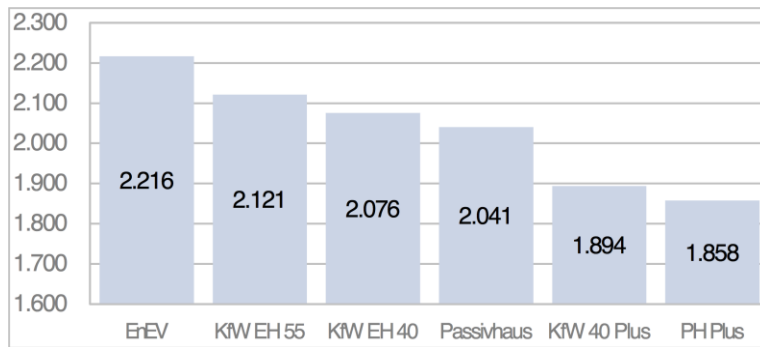


Abb. 7: monatliche Vollkosten in EUR für Typ A

Eine Zusammenstellung der Endenergie und der Vollkosten für Typ B erfolgt in den Abb. 8 und 9. Auch hier zeigt sich, dass die Standards KfW EH 40 und Passivhaus mit PV-Anlage gegenüber dem Mindeststandard nach EnEV die größten Einsparungen der Vollkosten haben.

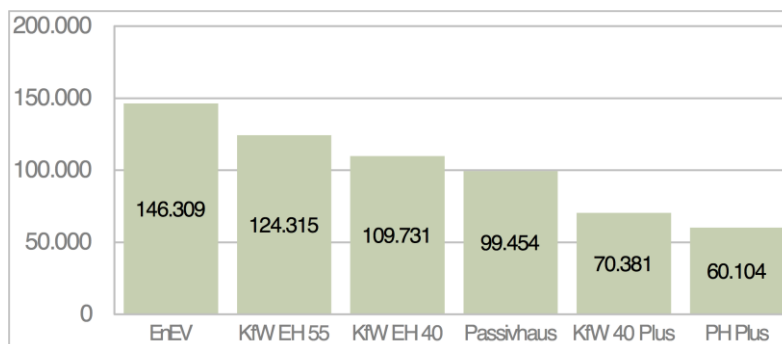


Abb. 8: Endenergiebedarf in kWh/a für Typ B

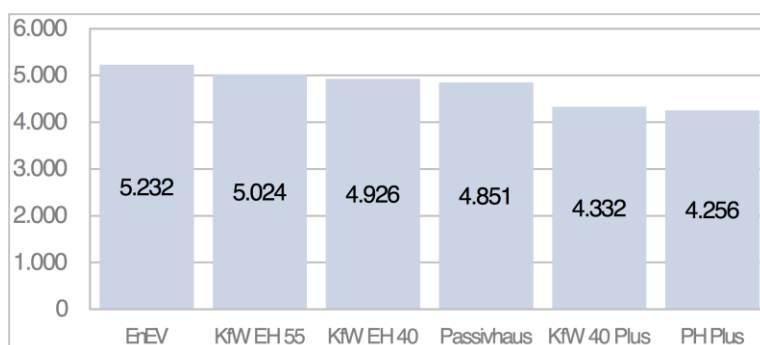


Abb. 9: monatliche Vollkosten in EUR für Typ B

3.7. CO₂-Emissionen

Im Weiteren werden die CO₂-Emissionen der Referenzvariante nach EnEV für die untersuchten Gebäudestandards dargestellt. Bilanziert werden dabei die entstehenden Emissionen für Wärme und Strom. Der PV-Ertrag wird gegengerechnet.

Abb. 10 zeigt die Summe der jährlichen CO₂-Emissionen für Typ A. Während der EnEV-Standard Emissionen in Höhe von rund 20.000 kg pro Jahr aufweist, reduziert sich dieser Wert beim Passivhaus auf etwa 14.600 kg. Mit einer PV-Anlage lassen sich die Emissionen weiter reduzieren. Es verbleibt ein Anteil von ca. 11.000 kg/a beim KfW EH 40 bzw. ca. 9.700 kg/a beim Passivhaus.

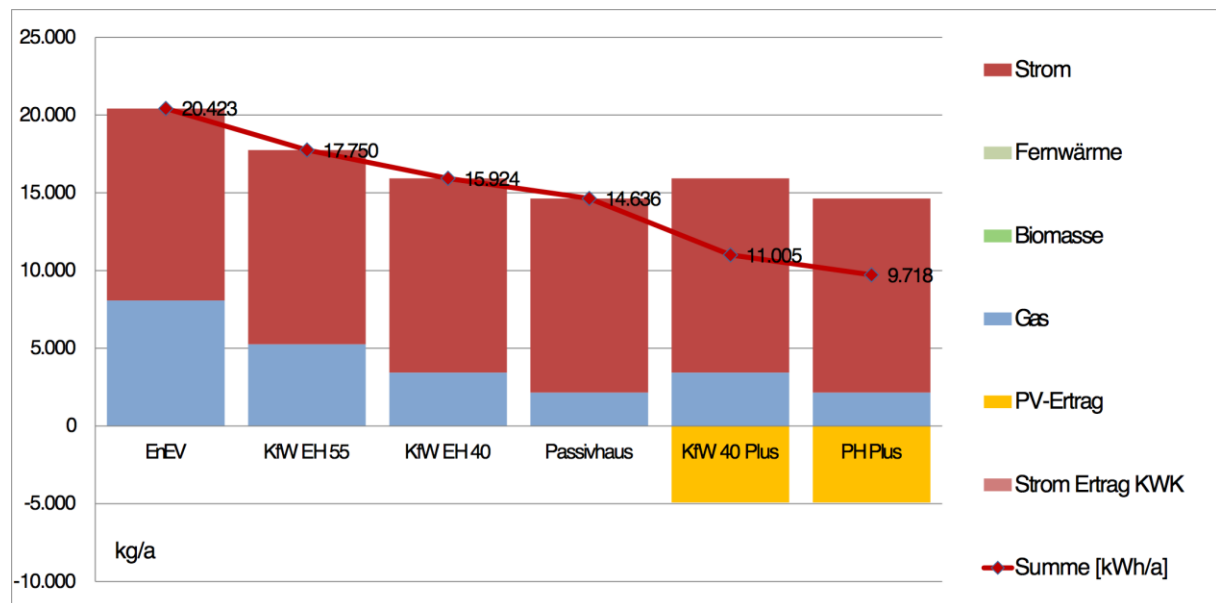


Abb. 10: jährliche CO₂-Emissionen für Typ A in kg/a

Die Abb. 11 zeigt die CO₂-Emissionen für Typ B. Auch hier ergibt sich dieselbe Tendenz der Verläufe wie bei Typ A. Beim Passivhaus mit PV-Anlage verbleibt eine Restemission von ca. 39.000 kg/a.

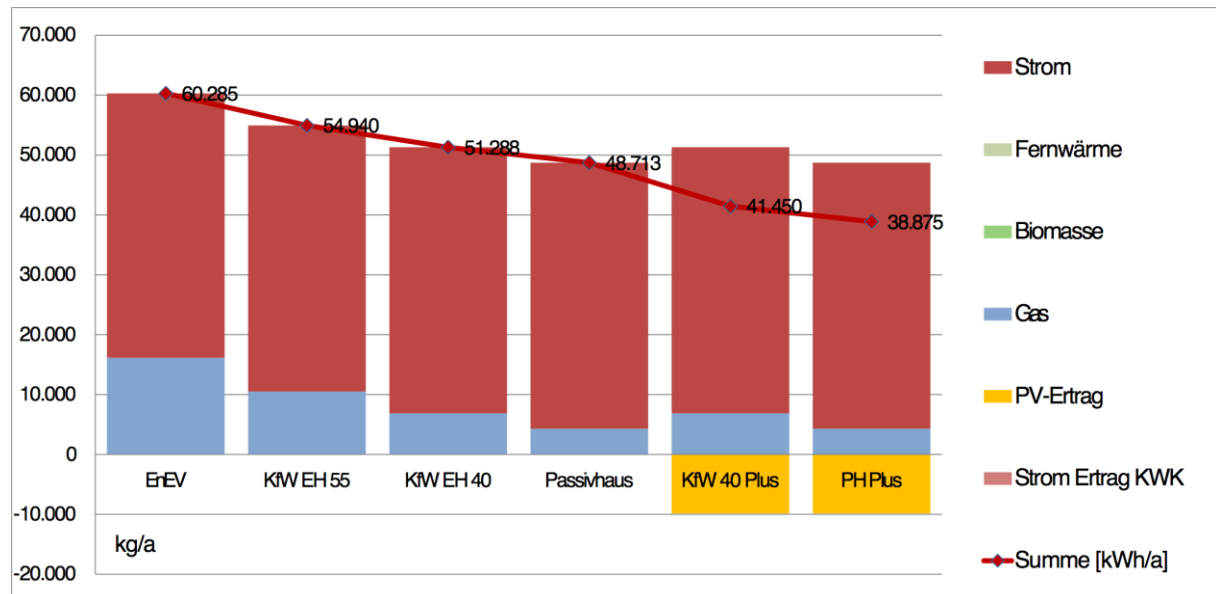


Abb. 11: jährliche CO₂-Emissionen für Typ B in kg/a

3.8. Fazit und Empfehlung

Die oben dargestellten Untersuchungen der Gebäudestandards mit der technischen Referenz-Variante nach EnEV zeigen folgende Ergebnisse:

- bessere Gebäude-Energiestandards führen zu einmaligen Investitionsmehrkosten
- diese Mehrkosten können jedoch durch niedrigere Betriebskosten und durch einen aktuell zur Verfügung stehenden Tilgungszuschuss der KfW-Bank kompensiert werden
- der Einbau einer PV-Anlage ist wirtschaftlich und reduziert die entstehenden CO₂-Emissionen für Strom und Wärme

Es wird empfohlen, den Bau von Gebäuden im KfW EH 40 Standard bzw. im Passivhaus-Standard jeweils mit PV-Anlage zu unterstützen.

Ergänzung vom 21.07.2021:

Am 1. Juli 2021 wurde die Förderung des Bundes für energetische Maßnahmen an Gebäuden neu aufgesetzt.

Die möglichen Tilgungszuschüsse auf den Kreditbetrag der entsprechenden KfW-Programme haben sich gegenüber den oben dargestellten Berechnungen deutlich erhöht (siehe nachfolgende Tabelle, Stand 21.07.2021). Die gemachte Empfehlung, den Bau von Gebäuden im Effizienzgebäude 40-Standard bzw. im Passivhaus-Standard mit PV-Anlage zu unterstützen, kann deshalb noch einmal deutlich unterstrichen werden.

Effizienzgebäude	Tilgungszuschuss
Effizienzgebäude 40	20 %
Effizienzgebäude 40 Erneuerbare-Energien-Klasse oder Nachhaltigkeits-Klasse	22,5 %
Effizienzgebäude 55	15 %
Effizienzgebäude 55 Erneuerbare-Energien-Klasse oder Nachhaltigkeits-Klasse	17,5 %

4. Untersuchung von Versorgungsvarianten

Im nächsten Schritt werden für die oben dargestellten Gebäudestandards verschiedene Wärmeversorgungsvarianten untersucht. Nach Abstimmung mit der Stadt Burgdorf handelt es sich dabei um folgende dezentrale und zentrale Varianten:

dezentrale Varianten
Luft-Wasser-Wärmepumpe
Sole-Wasser-Wärmepumpe
Erdgas-Brennwertkessel mit Solarthermie (als Referenzvariante in Kapitel 3)

zentrale Varianten
Nahwärmenetz mit Erdgas-BHKW
kaltes Nahwärmenetz mit dezentralen Wasser-Wasser-Wärmepumpen

4.1. Luft-Wasser-Wärmepumpe

Eine Wärmepumpe entzieht der Umwelt (z.B. der Luft oder der Erde) mit Hilfe von elektrischer Energie Wärme und bringt sie auf ein höheres Temperaturniveau, welches zur Gebäudebeheizung und/oder Warmwasserbereitung genutzt werden kann. Ein Teil der benötigten Energie kann durch selbst erzeugten Strom aus einer Photovoltaikanlage bereitgestellt werden.

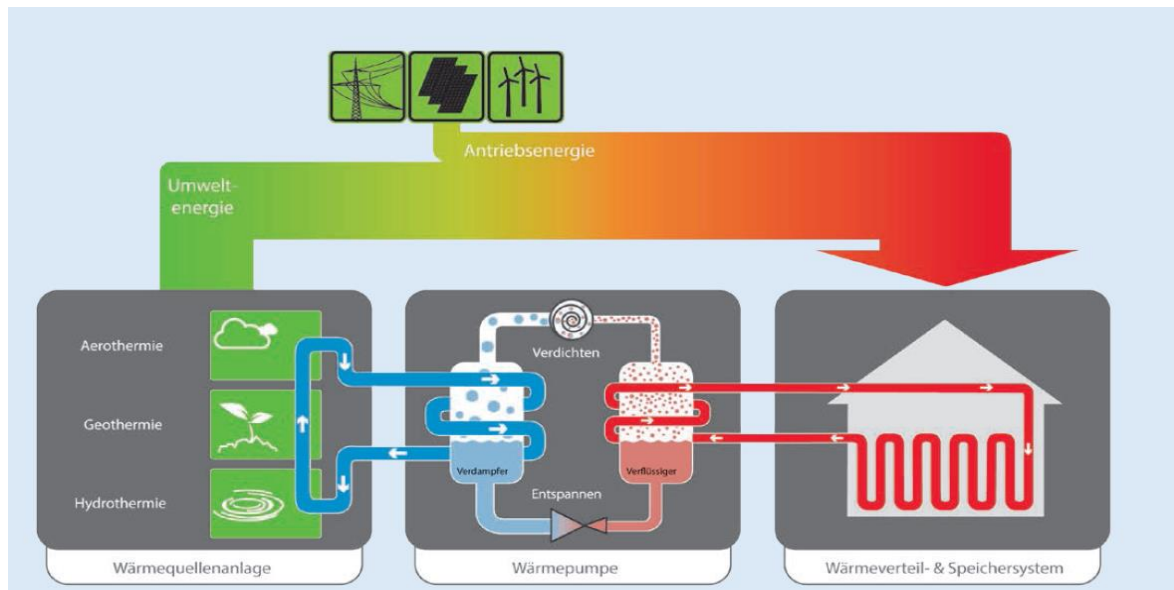


Abb. 12: Funktionsprinzip einer Wärmepumpe¹

Die für das Gebäude nutzbare Wärme wird über die Verdichtung des Kältemittels auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Die Außenluft-Wärmepumpe besteht aus zwei Komponenten. Der Teil mit dem Verflüssiger und allen weiteren für die Heizungsanlage benötigten Komponenten wird im Inneren des Gebäudes aufgestellt. Der Verflüssiger befindet sich hingegen im Außenbereich.

Über die Effizienz der Wärmepumpe gibt die Jahresarbeitszahl (JAZ) Auskunft. Diese beschreibt das Verhältnis von erzeugter Wärmemenge zur bezogenen elektrischen Energie über ein Jahr. Luft-Wasser-Wärmepumpen, die die Außenluft als Wärmequelle nutzen, erreichen JAZ von etwa 3,0.

4.1.1. Investitionskosten

Die Investitionskosten für ein Gebäude mit Luft-Wasser-Wärmepumpe sind für alle Energiestandards und für beide Modellgebäude günstiger als die Referenzvariante mit Gas-Brennwertkessel und Solarthermie-Anlage (vgl. Kapitel 3 Abb. 3 und 5). Ein wesentlicher Grund dafür ist die Förderung der Investitionskosten für eine Wärmepumpenanlage von bis zu 35 Prozent durch das Bundesamt für Wirtschaftsförderung und Ausführungkontrolle (BAFA). In den Abb. 13 und Abb. 14 sind die Investitionskosten wie in Kapitel 3 beschrieben für die Varianten mit Luft-Wasser-Wärmepumpe dargestellt.

¹ Quelle: Leitfaden Wärmepumpe der EnergieAgentur.NRW

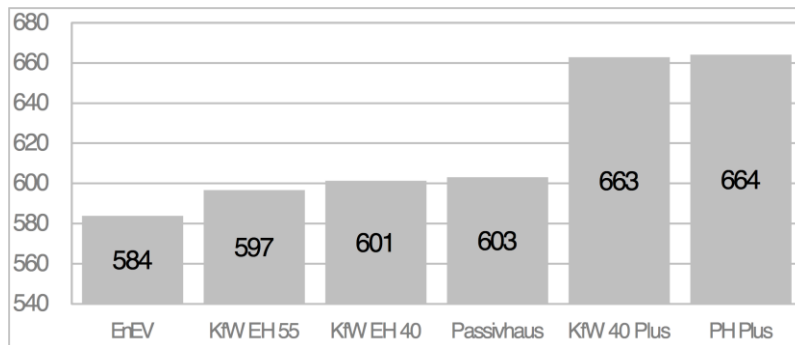


Abb. 13: Investitionskosten für Typ A mit Luft-Wasser-Wärmepumpe in TEUR

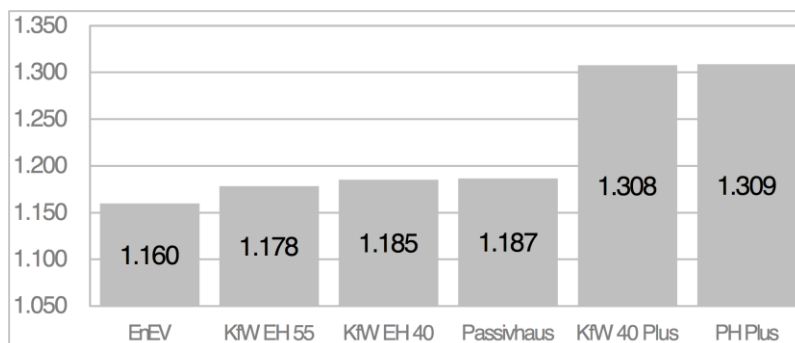


Abb. 14: Investitionskosten für Typ B mit Luft-Wasser-Wärmepumpe in TEUR

Gegenüber der Referenzvariante nach EnEV mit Gas-Brennwertkessel und Solarthermie ergibt sich für Typ A als KfW EH 40 eine Einsparung an Investitionskosten von 4 TEUR. Diese Einsparung beträgt bei Typ B 7 TEUR.

4.2. Endenergie und Vollkostenvergleich

Der Endenergiebedarf reduziert sich bei Typ A mit niedrigem Strombedarf gegenüber der Referenzvariante mit Gas-Brennwertkessel um etwa 40 Prozent auf ca. 32.700 kWh/a. Im KfW EH 40-Standard werden ca. 9.250 kWh/a eingespart. Beim Bau eines Passivhauses mit PV-Anlage werden ca. 25.000 kWh/a weniger Endenergie verbraucht als bei einem Passivhaus mit Gas-Brennwertkessel und ohne PV (siehe Abb. 15).

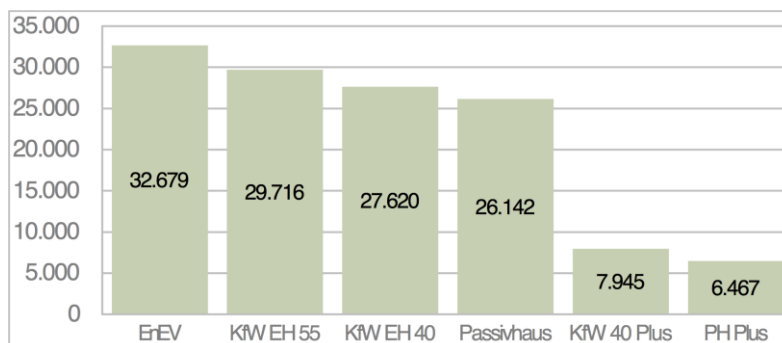


Abb. 15: Endenergie in kWh/a für Typ A mit Luft-Wasser-Wärmepumpe

Wärmepumpen werden mit elektrischen Strom betrieben. Die Bezugskosten für eine kWh Strom sind deutlich teurer als für die kWh Erdgas. Über selbst erzeugten Strom durch eine PV-Anlage

können die Kosten zur Wärmeerzeugung gesenkt werden. Der Vergleich der Vollkosten von Typ A in den unterschiedlichen Energiestandards (siehe Abb. 16) mit der Referenzvariante zeigt, dass die monatlichen Vollkosten mit Luft-Wasser-Wärmepumpe etwas geringer sind.

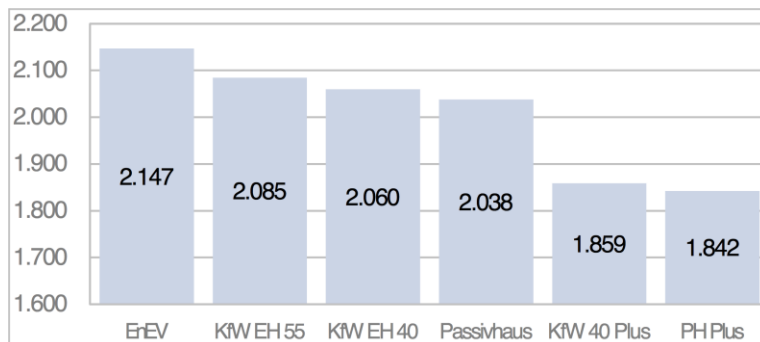


Abb. 16: monatliche Vollkosten in EUR für Typ A mit Luft-Wasser-Wärmepumpe

In den Abb. 17 und Abb. 18 sind die Endenergiebedarfe und die monatlichen Vollkosten für die verschiedenen Gebäudestandards bei Typ B mit Luft-Wasser-Wärmepumpe dargestellt. Wie beim kleineren Gebäude ist auch hier eine deutliche Einsparung des Endenergiebedarfs ersichtlich. Die monatlichen Vollkosten sind ebenfalls geringer als bei der Referenzvariante.

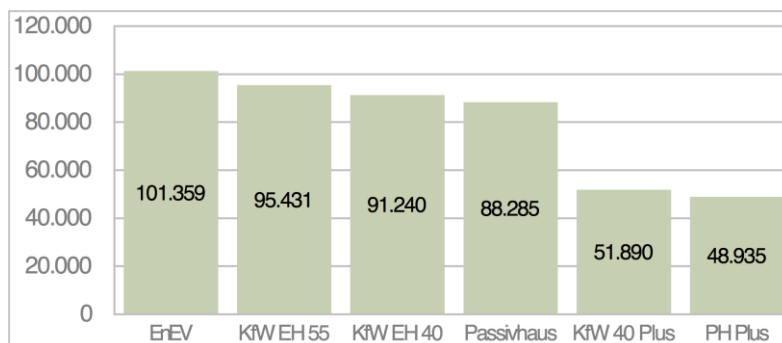


Abb. 17: Endenergie in kWh/a für Typ B mit Luft-Wasser-Wärmepumpe

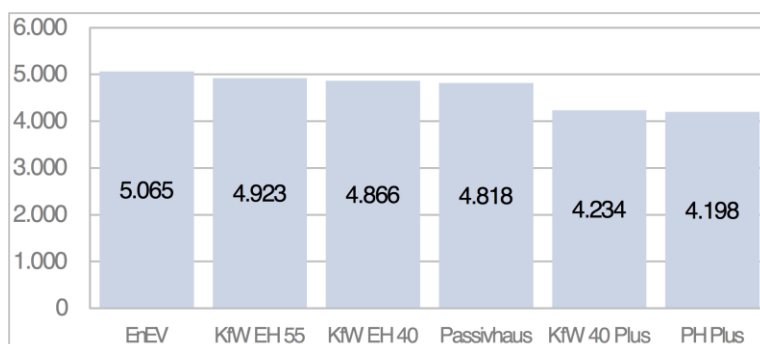


Abb. 18: monatliche Vollkosten in EUR für Typ B mit Luft-Wasser-Wärmepumpe

4.2.1. CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen der untersuchten Modellgebäude sind bei Nutzung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe in allen Energiestandards geringer als die Referenzvariante mit Gas-

Brennwertkessel. Die Einsparung bei Typ A im EnEV-Standard beträgt ca. 3.000 kg/a. Beim Bau eines Passivhauses mit PV-Anlage können die Emissionen gegenüber der EnEV-Variante mit Gas-Brennwertkessel um ca. 11.000 kg/a reduziert werden. Der Trend der CO₂-Emissionen beim Typ B ist analog. Eine Übersicht der CO₂-Emissionen befindet sich in den Abb. 19 und Abb. 20.

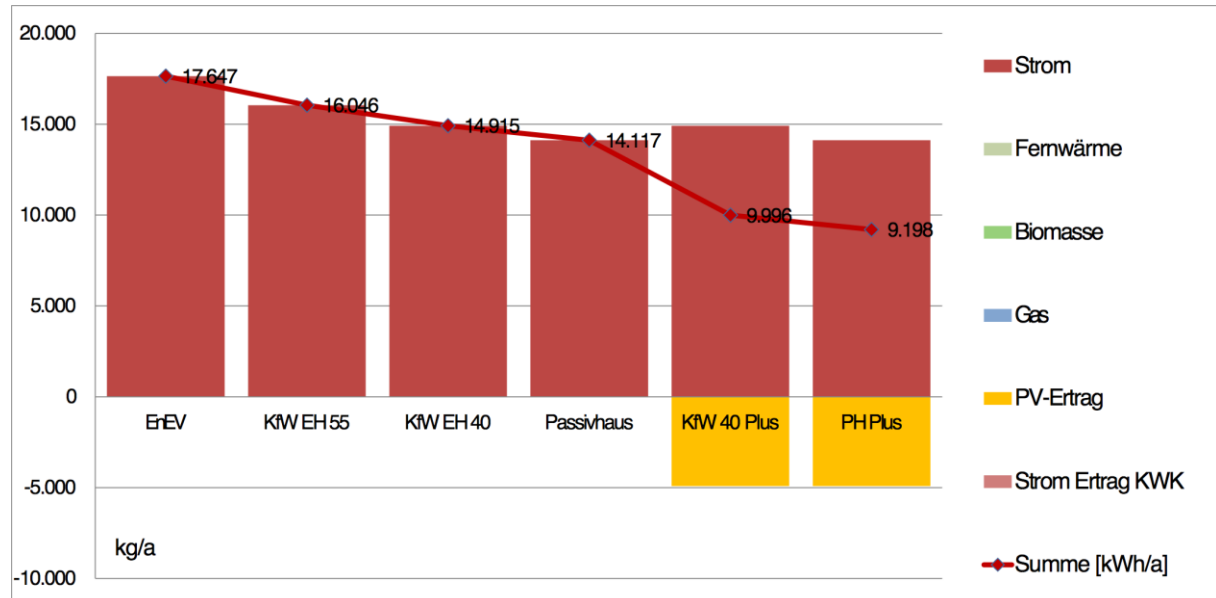


Abb. 19: CO₂-Emissionen für Typ A mit Luft-Wasser-Wärmepumpe

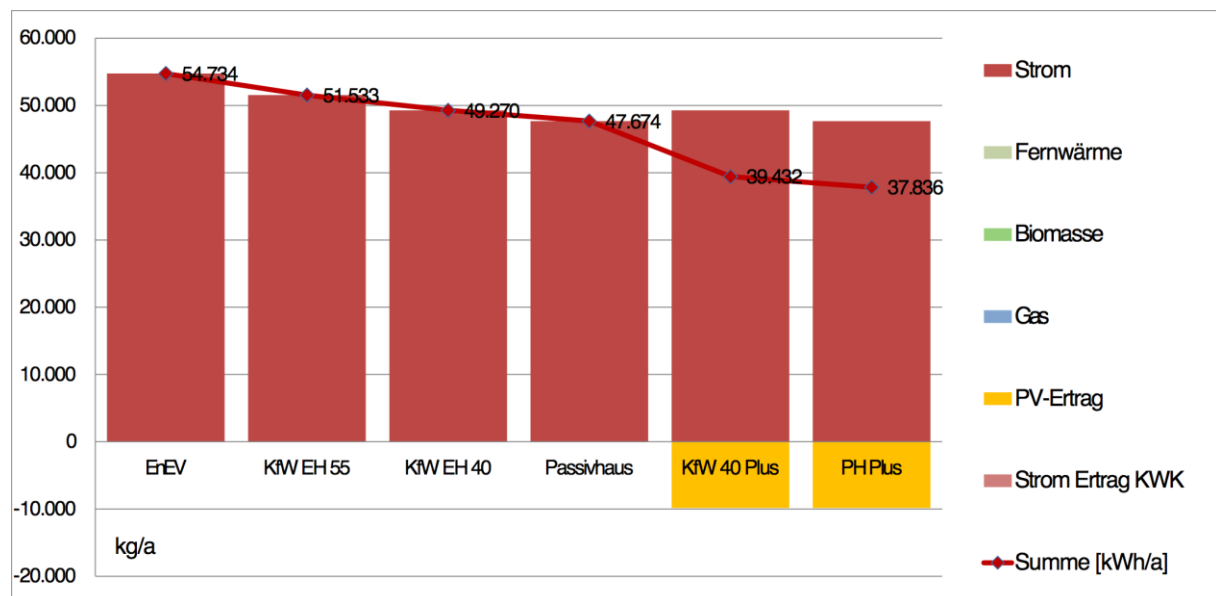


Abb. 20: CO₂-Emissionen für Typ B mit Luft-Wasser-Wärmepumpe

4.3. Sole-Wasser-Wärmepumpe

Eine Sole-Wasser-Wärmepumpe entzieht dem Erdreich Wärme. Dazu werden Sondenbohrungen ins Erdreich gebracht. In den Sonden fließt eine frostsichere Sole, die die Wärme aus dem Erdreich in die Wärmepumpe transportiert. Alternativ kann ein Kollektor in den frostfreien Bereich des Erdreichs gelegt werden. Diese Variante hat allerdings den Nachteil eines hohen Flächenbedarfs.

Das Erdreich hat gegenüber der Außenluft auch im Winter ein höheres Temperaturniveau zu bieten. Aus diesem Grund sind Sole-Wasser-Wärmepumpen effizienter als Luft-Wasser-Wärmepumpen und erreichen Jahresarbeitszahlen größer 3,5. Gegenüber einer Luft-Wasser-Wärmepumpe fallen allerdings höhere Investitionskosten, insbesondere auch zur Erschließung des Erdreichs, an.

4.3.1. Investitionskosten

Die Investitionskosten für die Gebäude mit Sole-Wasser-Wärmepumpe sind bei beiden untersuchten Gebäudegrößen ungefähr gleich hoch wie die Vergleichsgebäude mit der EnEV-Referenzvariante mit Gas-Brennwertkessel (vgl. Kapitel 3 Abb. 3 und 5). Wie oben für die Luft-Wasser-Wärmepumpe beschrieben, kann auch für die Investitionskosten der Sole-Wasser-Wärmepumpe ein Zuschuss durch das BAFA in Höhe von bis zu 35 Prozent angesetzt werden. Eine Übersicht der Investitionskosten befindet sich in den Abb. 21 und Abb. 22.

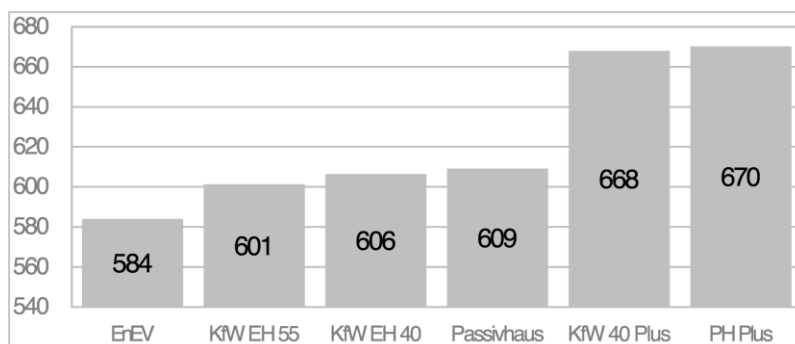


Abb. 21: Investitionskosten für Typ A mit Sole-Wasser-Wärmepumpe in TEUR

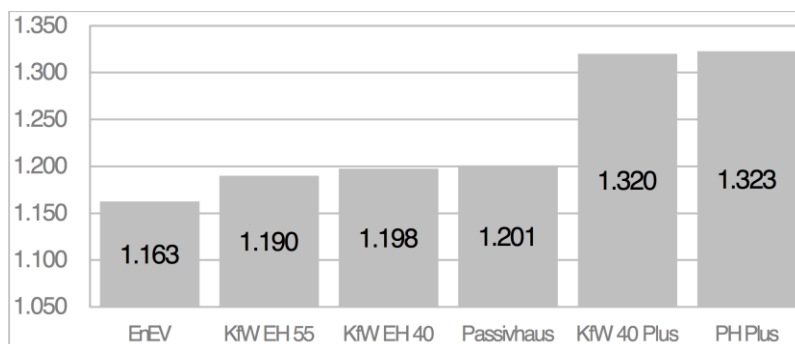


Abb. 22: Investitionskosten für Typ B mit Sole-Wasser-Wärmepumpe in TEUR

4.3.2. Endenergie und Vollkostenvergleich

Wie schon bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe, ist der Endenergiebedarf aller Gebäude mit Sole-Wasser-Wärmepumpe deutlich geringer als in der Referenzvariante mit Gas-Brennwertkessel. Aufgrund der besseren Effizienz der Sole-Wasser-Wärmepumpe gegenüber der Luft-Wasser-Wärmepumpe kann der Endenergiebedarf nochmals reduziert werden. Bei Typ A beträgt die zusätzliche Einsparung ca. 1.000 kWh/a für die EnEV-Variante. Im größeren untersuchten Gebäude liegt dieser Wert bei ca. 2.000 kWh/a. Typ A als Passivhaus mit PV-Anlage spart ca. 400

kWh mehr ein als das Vergleichsgebäude mit Luft-Wasser-Wärmepumpe. Bei Typ B sind dies ca. 800 kWh/a. Die Übersichten der Endenergiebedarfe befinden sich in den Abb. 23 und Abb. 25.

Der Vergleich der monatlichen Vollkosten zeigt, dass der Unterschied der Kosten gegenüber den Varianten mit Luft-Wasser-Wärmepumpe nur gering ist und in der EnEV-Variante des Typ A bei ca. 280 EUR im Jahr liegt. Bei Typ B beträgt diese Kosteneinsparung ca. 420 EUR. Die monatlichen Vollkosten der einzelnen Gebäude sind in den Abb. 24 und Abb. 26 dargestellt.

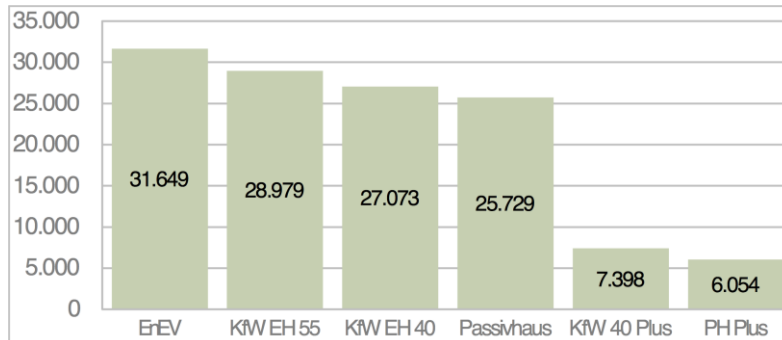


Abb. 23: Endenergie Wärme für Typ A mit Sole-Wasser-Wärmepumpe in kWh/a

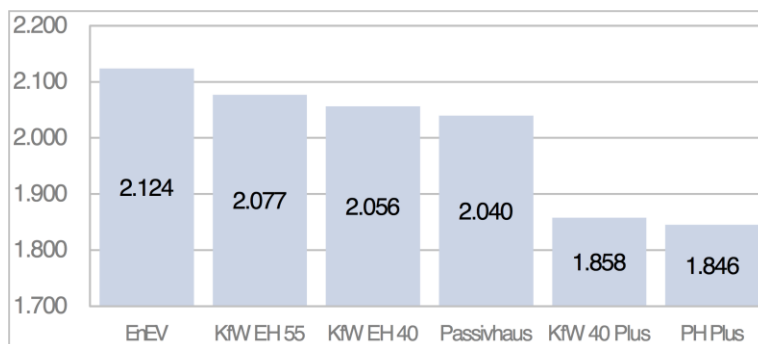


Abb. 24: monatliche Vollkosten in EUR für Typ A mit Sole-Wasser-Wärmepumpe

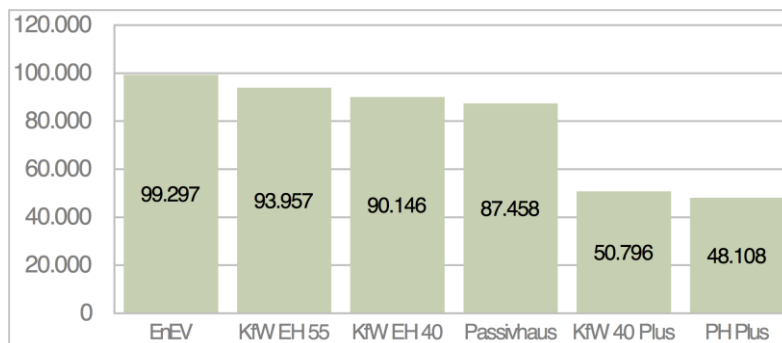


Abb. 25: Endenergie Wärme für Typ B mit Sole-Wasser-Wärmepumpe in kWh/a

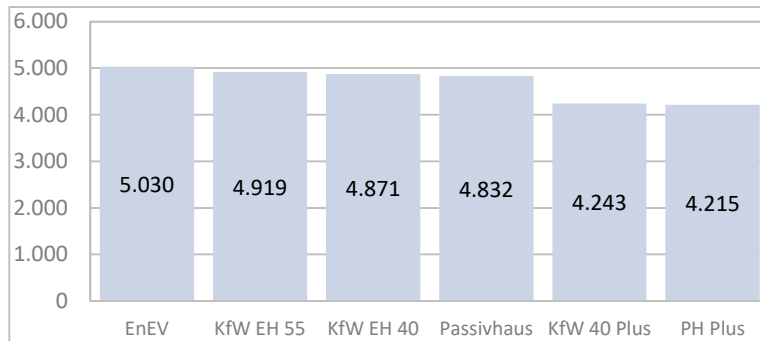


Abb. 26: monatliche Vollkosten in EUR für Typ B mit Sole-Wasser-Wärmepumpe

4.3.3. CO₂-Emissionen

Aufgrund der hohen Effizienz der Sole-Wasserwärmepumpe ergibt sich gegenüber der Luft-Wasser-Wärmepumpe eine nochmalige geringfügige Reduzierung der CO₂-Emissionen, die mit besser werdendem Energiestandard abnimmt. Bei Typ A liegt die zusätzliche Einsparung zwischen rund 600 kg/a im EnEV-Standard und ca. 200 kg/a beim Passivhaus mit PV-Anlage. Beim Typ B können im EnEV-Standard zusätzlich ca. 1.000 kg/a und beim Passivhaus mit PV-Anlage ca. 500 kg/a eingespart werden. Die resultierenden CO₂-Emissionen sind in den Abb. 27 und Abb. 28 dargestellt.

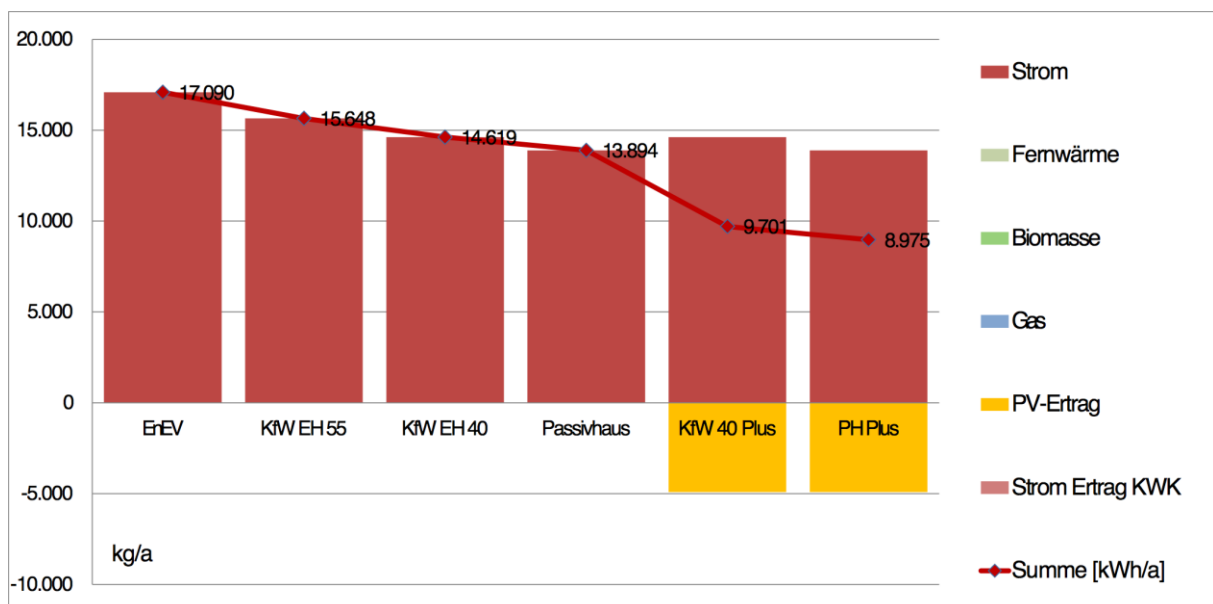


Abb. 27: CO₂-Emissionen für Typ A mit Sole-Wasser-Wärmepumpe in kg/a

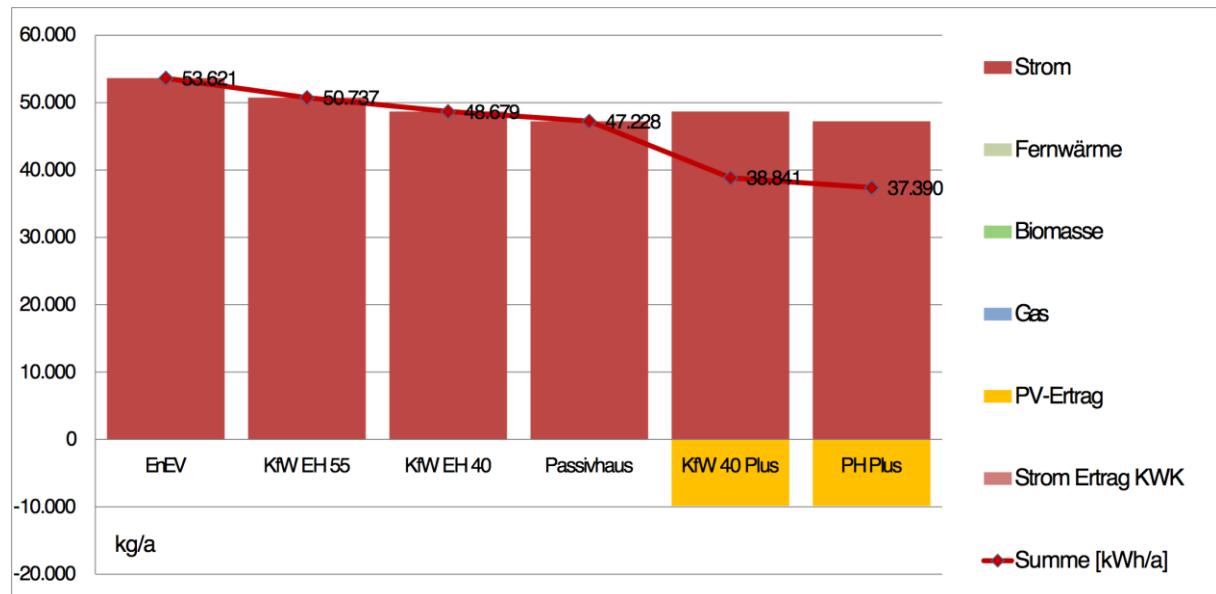


Abb. 28: CO₂-Emissionen für Typ B mit Sole-Wasser-Wärmepumpe in kg/a

Ergänzung vom 21.07.2021:

Die geplanten gewerblichen Bauflächen werden sich alle außerhalb des Bereichs befinden, der einer Schutzzone II aber innerhalb des Bereichs, der einer Schutzzone IIIA entspricht. Die Stadt Burgdorf verfolgt das Ziel, die Erweiterung des Gewerbegebiets so zu gestalten, dass die Trinkwassernutzung nicht gefährdet wird. Dafür werden auch bereits andere Maßnahmen ergriffen. Wenn keine wassergefährdenden Stoffe (Sole) eingesetzt werden dürfen, können andere Wärmeträger verwendet werden (z.B. CO₂, Wasser). Dies muss im Einzelfall betrachtet werden, führt aber zu keiner nennenswerten Veränderung der Wirtschaftlichkeit gegenüber Sole-Wasser-Wärmepumpen.

4.4. Nahwärmenetz mit Erdgas BHKW

Bei dieser zentralen Wärmeversorgungsvariante werden alle Gebäude im Neubaugebiet über ein Leitungsnetz mit Wärme versorgt. Die Wärmeerzeugung erfolgt an zentraler Stelle über ein Blockheizkraftwerk (BHKW). Das BHKW wird so dimensioniert, dass es die Grundlast der Wärmeversorgung bereitstellt. Für Wärmespitzen im Winter wird ein Gas-Spitzenlastkessel hinzugeschaltet. Die Errichtung und der Betrieb von Wärmenetz und Wärmeerzeugungszentrale sollte durch ein Wärmedienstleistungsunternehmen erfolgen, um einen sicheren und reibungslosen Betrieb zu gewährleisten.

4.4.1. technische Parameter

Zur Abschätzung der Anlagen- und Netzgröße sowie der damit einhergehenden Investitionskosten müssen zunächst einige technische Parameter festgelegt werden. Der über die Nahwärmeversorgung zu deckende Wärmeendenergiebedarf ergibt sich aus der Anzahl der Gebäude im Neubaugebiet mit ihren jeweiligen beheizten Nutzflächen und den jeweiligen Wärmebedarfen je nach Energiestandard. Bei 41 Grundstücken und dem Ansatz einer mittleren beheizten Grundfläche von 700 m² beträgt der Wärmeendenergiebedarf zwischen 950 und 2.380 MWh pro Jahr.

Wärmeendenergiebedarf

	EnEV	KfW 55	KfW 40	Passivhaus
in MWh/a	2.380	1.690	1.260	950

Bei der Wärmeverteilung über das Leitungsnetz entstehen Wärmeverluste zwischen 670 und 710 MWh, die von der Wärmezentrale zusätzlich zum Wärmebedarf der Gebäude erzeugt werden müssen. Der Endenergiebedarf mit Wärmenetz beträgt damit zwischen 1.620 MWh für die Versorgung von ausschließlich Passivhäusern bzw. 3.090 MWh, wenn im Baugebiet ausschließlich Gebäude nach EnEV entstehen.

Leitungsverluste

	EnEV	KfW 55	KfW 40	Passivhaus
in %	30	40	60	70
in MWh/a	710	680	750	670

Wärmeendenergiebedarf einschließlich Leitungsverlusten

	EnEV	KfW 55	KfW 40	Passivhaus
in MWh/a	3.090	2.370	2.010	1.620

Zur Dimensionierung der Auslegungsheizlast der Wärmezentrale wird nach VDI 2067 ein typischer Wert von 2.000 Vollbenutzungsstunden der Wärmeerzeuger angesetzt. Damit ergibt sich eine notwendige Auslegungsleistung zwischen 810 und 1.550 kW. Die Wärmezentrale aus BHKW und Spitzenlastkessel muss entsprechend groß dimensioniert werden.

Auslegungsheizlast

	EnEV	KfW 55	KfW 40	Passivhaus
bei 2.000 Vollbenutzungsstunden in kW	1.550	1.185	1.005	810

4.4.2. Investitionskosten

Die Kosten für den Bau des Wärmenetzes und der Wärmezentrale liegen in der Hand des Wärmedienstleistungsunternehmens und werden an dieser Stelle nicht betrachtet. Für die Gebäudeeigentümer entstehen Kosten für den Einbau einer Wärmeübergabestation im Haus. Darüber hinaus beteiligt der Wärmedienstleister die Gebäudebesitzer an seinen Investitionskosten über einen Baukostenzuschuss. Die Summe der Investitionskosten für den Gebäudebesitzer

werden mit 10 TEUR für Typ A und 15 TEUR für Typ B gewählt. Dieser Wert ist abhängig von der Gesamt-Anschlussquote der Gebäude und fällt bei geringeren Anschlussquoten höher aus.

4.4.3. Betriebskosten

Die Betriebskosten der Gebäudebesitzer für die abgenommene Wärmemenge ergeben sich aus dem vom Wärmelieferanten festzulegenden Wärmepreis je kWh. Über den Wärmepreis bildet der Wärmelieferant alle für den Bau und den Betrieb der Wärmeversorgungsanlage entstehenden Kosten sowie seine Gewinnmarge ab. Für einen konkurrenzfähigen Betrieb gegenüber dezentralen Wärmeversorgungsvarianten ergeben sich vielfach typische Wärmekosten zwischen 12 und 14 ct je kWh. Der Wärmelieferant muss kalkulieren und entscheiden, ob eine Wärmeversorgung in diesem maximalen Kostenrahmen realisierbar ist.

Abb. 29 zeigt die monatlichen Vollkosten für Typ A bei einem Wärmepreis von 12 ct/kWh. Diese liegen zwischen 1.856 und 2.247 EUR. Im Vergleich zur Referenzvariante mit Gas-Brennwertkessel (vgl. Kap. 3 Abb. 7) ergeben sich daraus monatliche Mehrkosten von ca. 30 EUR für die EnEV-Variante. Ab der Variante KfW EH 40 sind die monatlichen Kosten zu denen der Referenzvariante quasi identisch.

Bei einem Wärmepreis von 14 ct/kWh steigen die monatlichen Vollkosten für Typ A auf Beträge zwischen 1.873 und 2.304 EUR (siehe Abb. 30). Damit sind alle energetischen Varianten bei einer Nahwärmeversorgung mit Erdgas-BHKW teurer als in den dezentralen Referenzvarianten.

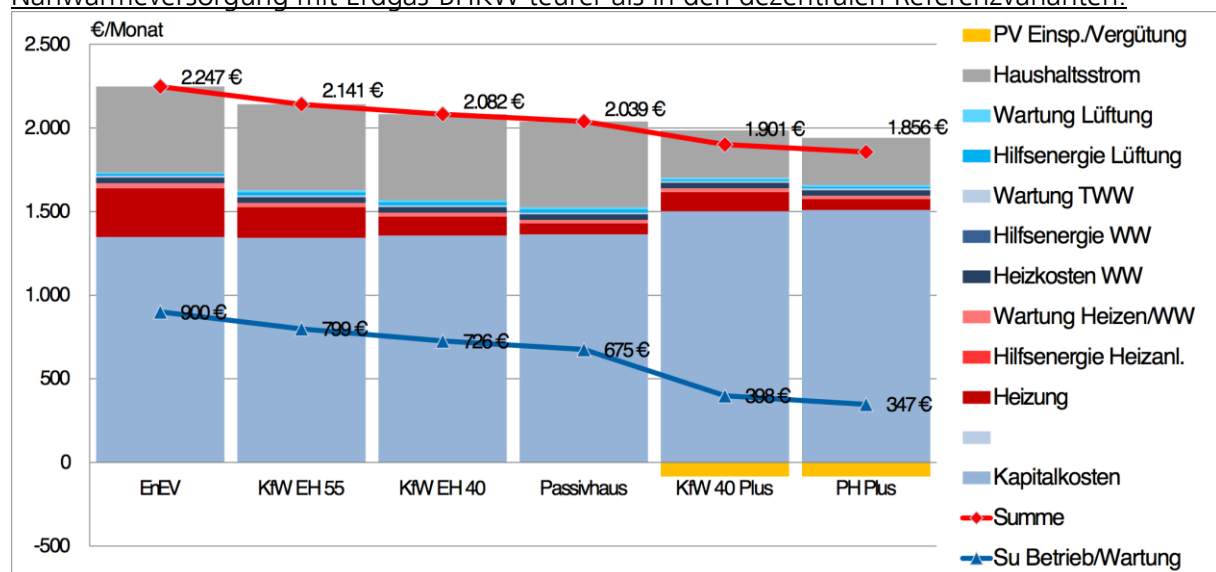


Abb. 29: monatliche Vollkosten für Typ A bei 12 ct/kWh

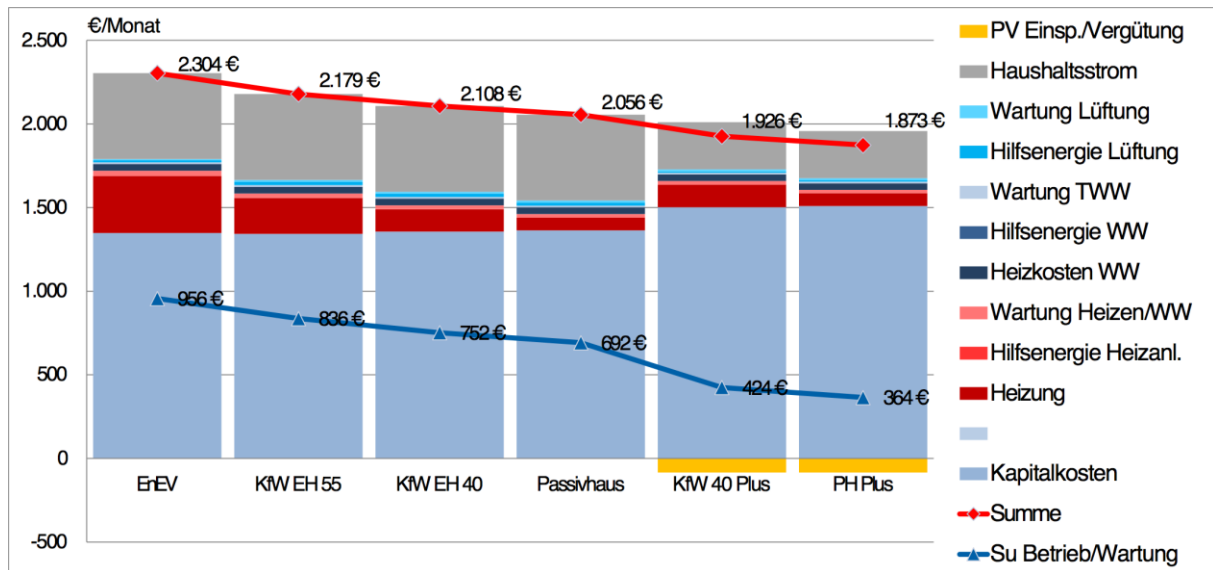


Abb. 30: monatliche Vollkosten für Typ A bei 14 ct/kWh

Die monatlichen Vollkosten für einen Wärmepreis von 12 bzw. 14 ct/kWh bei Typ B sind in den Abb. 31 und Abb. 32 dargestellt. Es ergibt sich eine ähnliche Tendenz wie oben für Typ A dargestellt.

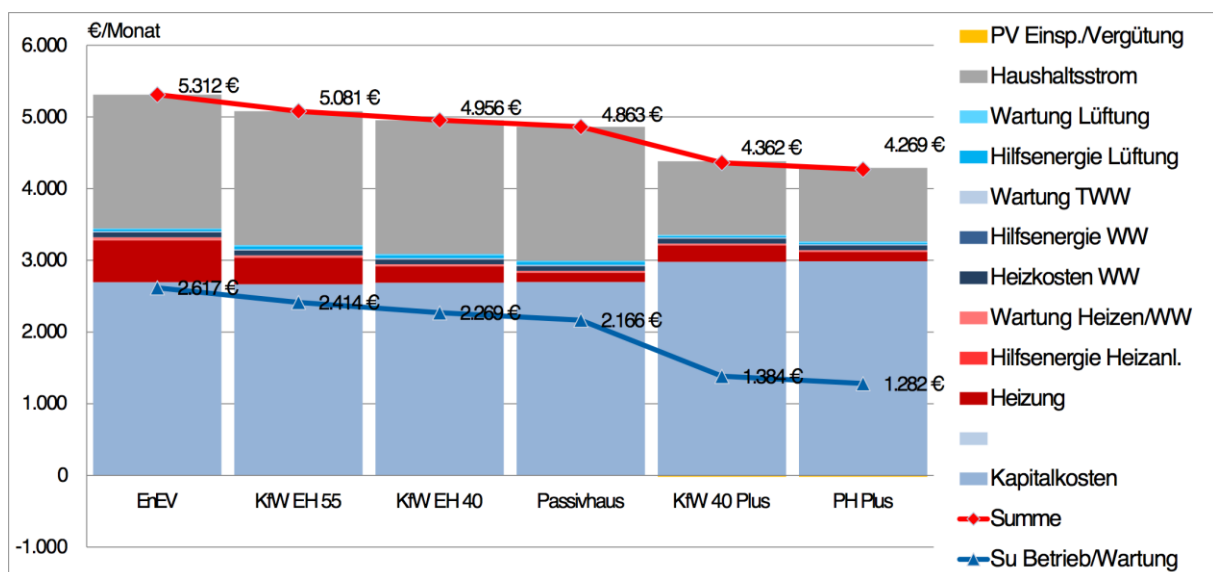


Abb. 31: monatliche Vollkosten für Typ B bei 12 ct/kWh

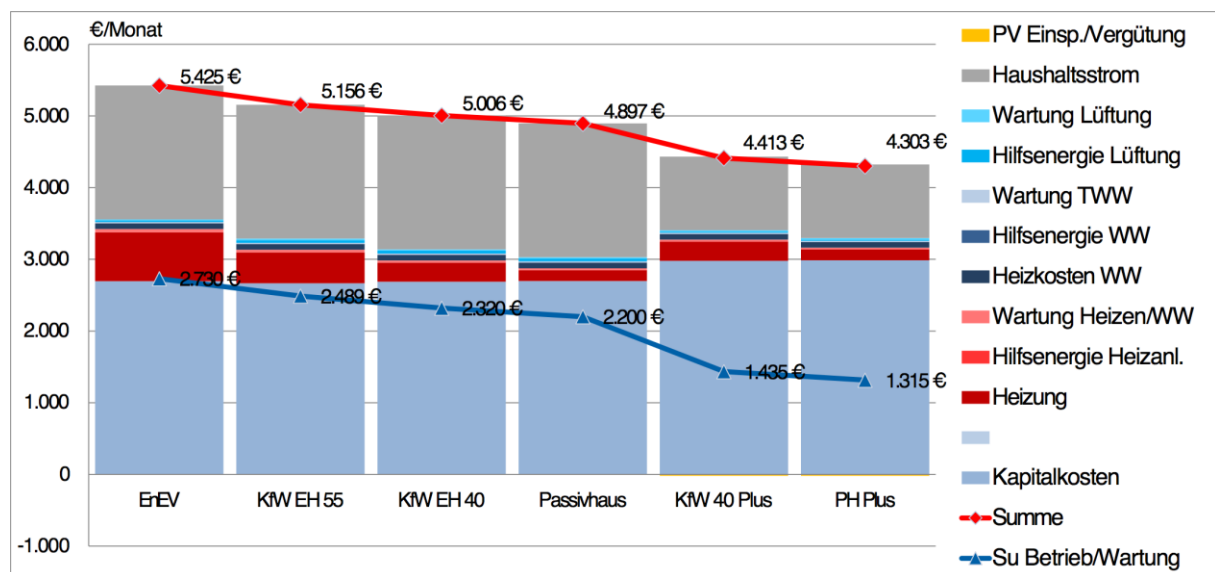


Abb. 32: monatliche Vollkosten für Typ B bei 14 ct/kWh

4.4.4. CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen bei einer Nahwärmeversorgung mit Erdgas-BHKW liegen bei Typ A mit niedrigem Strombedarf je nach energetischem Gebäudestandard und eventuell vorhandenen PV-Anlagen zwischen 9.279 und 18.136 kg/a, bei Typ B liegt diese Spanne zwischen 37.999 und 55.711 kg/a (siehe Abb. 33 bis Abb. 34). Damit liegen die Emissionen unter denen einer jeweiligen Variante mit Gas-Brennwertkessel, allerdings über den Emissionswerten der dezentralen Wärmepumpenvarianten.

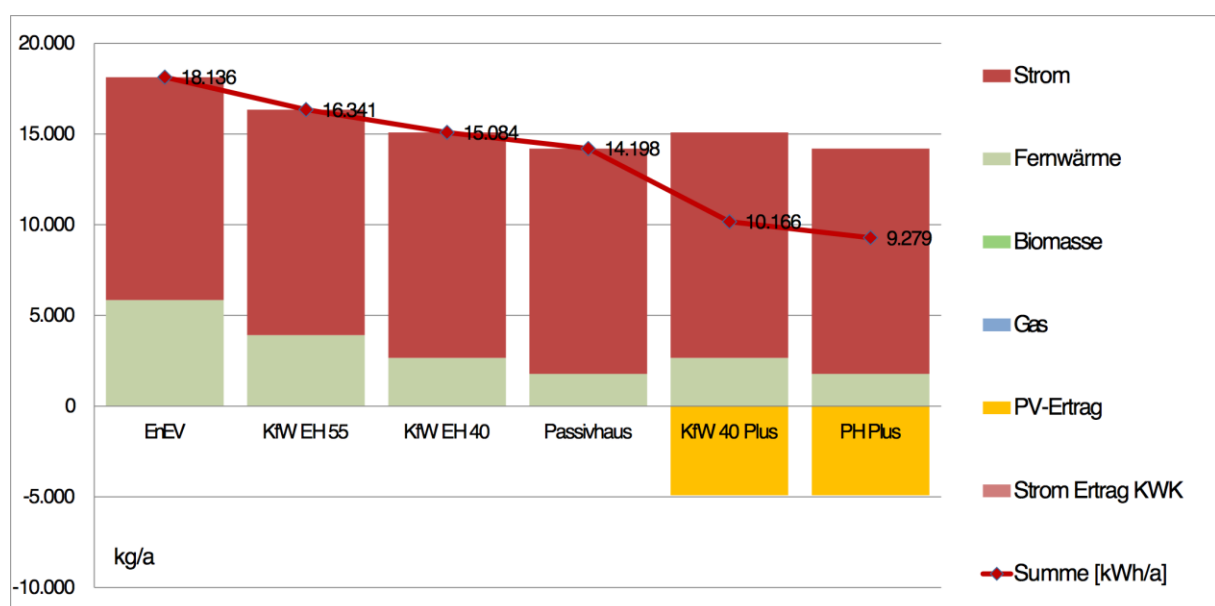


Abb. 33: CO₂-Emissionen in kg/a bei Nahwärme mit Erdgas-BHKW für Typ A

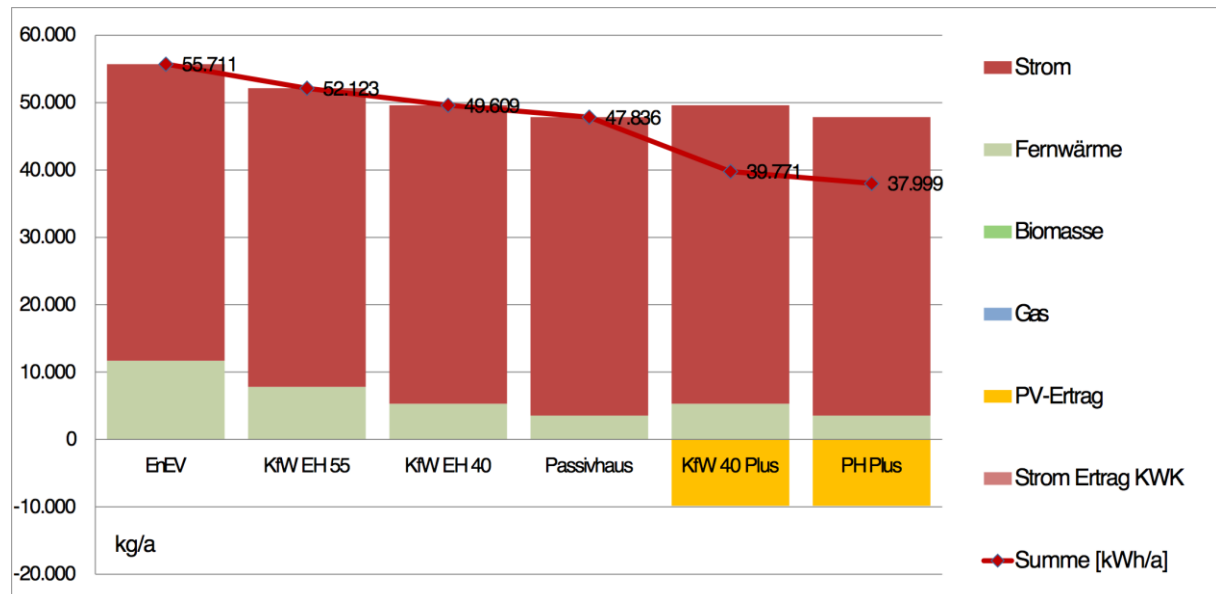


Abb. 34: CO₂-Emissionen in kg/a bei Nahwärme mit Erdgas-BHKW für Typ B

4.4.5. Infrastruktur und weitere Voraussetzungen

Bei der Entscheidung für den Bau eines Nahwärmenetzes müssen frühzeitig Trassenführung und Platzbedarf der Wärmeleitungen sowie die Errichtung der Wärmezentrale in der Planung berücksichtigt werden. Dazu sollten ebenfalls frühzeitig Gespräche mit dem potentiellen Wärmelieferanten geführt werden.

Für den Bau der Wärmezentrale wird ein Platzbedarf von ca. 80 m² abgeschätzt. Die Wärmezentrale kann entweder in einem eigenen Bauwerk entstehen oder aber auch in einem vom Wärmelieferanten anzumietenden Raum in einem der entstehenden Gebäude.

Bei einer zentralen Wärmeversorgungsvariante sollte dem Wärmelieferanten ein hohes Maß an Sicherheit für die Planung und Kalkulation gegeben werden. Dazu gehört neben der Klarheit zu Trassenführung und der genauen Standorte der Übergabestationen im Idealfall auch die Festlegung auf einen energetischen Gebäudestandard sowie ein Anschlusszwang über Kaufverträge bzw. den Beschluss einer Nahwärmesatzung. Darüber hinaus sollte die Bebauung und die anschließende Inbetriebnahme der Wärmeversorgung für alle Gebäude möglichst zeitgleich stattfinden.

4.5. Kaltes Nahwärmenetz mit Wasser-Wasser-Wärmepumpen

Im Gegensatz zum oben beschriebenen Nahwärmenetz, das über ein Erdgas-BHKW betrieben wird und hohe Temperaturen bereitstellt, arbeitet das kalte Nahwärmenetz auf einem wesentlich niedrigeren Temperaturniveau mit Vorlauftemperaturen von 10 bis 15° C. Als Wärmequelle für das Nahwärmenetz bietet sich die Nutzung von oberflächennaher Erdwärme an, die über ein Sondenfeld oder einen Erdreichkollektor erschlossen wird. Um die Temperatur des Heizungswassers in den Gebäuden auf das benötigte Temperaturniveau für die Heizungsanlage zu bringen, werden in den Gebäuden Wasser-Wasser-Wärmepumpen eingebaut. Aufgrund der

hohen Wärmequellentemperatur können diese Wärmepumpen mit hohen Jahresarbeitszahlen größer 4 arbeiten. Als Schnittstelle zwischen Wärmelieferanten und Gebäudebesitzer wird an dieser Stelle der Heizungsvorlauf hinter der Wärmepumpe definiert. D.h., dass sich die Wärmepumpen in den Häusern im Eigentum und Zuständigkeitsbereich des Wärmelieferanten befinden. Die Gebäudebesitzer werden an den Investitionen für die Wärmeversorgung über einen Baukostenzuschuss und Hausanschlusskosten beteiligt. Dafür wird ein einmaliger Betrag von 10 TEUR für Typ A angesetzt. Bei Typ B sind dies 15 TEUR. Wie bereits oben dargestellt ist dieser Wert von der erzielten Anschlussquote abhängig und steigt bei niedrigen Quoten an.

4.5.1. Betriebskosten

Die Betriebskosten der Hausbesitzer für die abgenommene Wärmemenge ergeben sich wie bereits oben für das Hochtemperatur-Nahwärmenetz aus dem vom Wärmelieferanten festzulegenden Wärmepreis je kWh. Auch hier gilt es, einen Preis im Bereich zwischen 12 und 14 ct anzubieten, um einerseits die Investitionskosten und andererseits alle Kosten für den laufenden Betrieb sowie einen Gewinn zu erzielen.

Bei einem Wärmepreis von 12 bzw. 14 ct je kWh sind die monatlichen Vollkosten identisch zu den oben unter 5.4.3 genannten Kosten.

4.5.2. CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen bei einer Wärmeversorgung mit kalter Nahwärme und Wasser-Wasser-Wärmepumpen liegen bei Typ A je nach energetischem Gebäudestandard und eventuell vorhandenen PV-Anlagen zwischen 8.491 und 15.536 kg/a (siehe Abb. 35) und damit unter den Vergleichswerten der Referenzvariante mit dezentralen Gas-Brennwertkesseln und auch unter den Emissionswerten der Varianten mit dezentralen Wärmepumpen. Die CO₂-Emissionen für Typ B sind in Abb. 36 dargestellt und nehmen den selben Vergleichstrend wie oben für Typ A beschrieben.

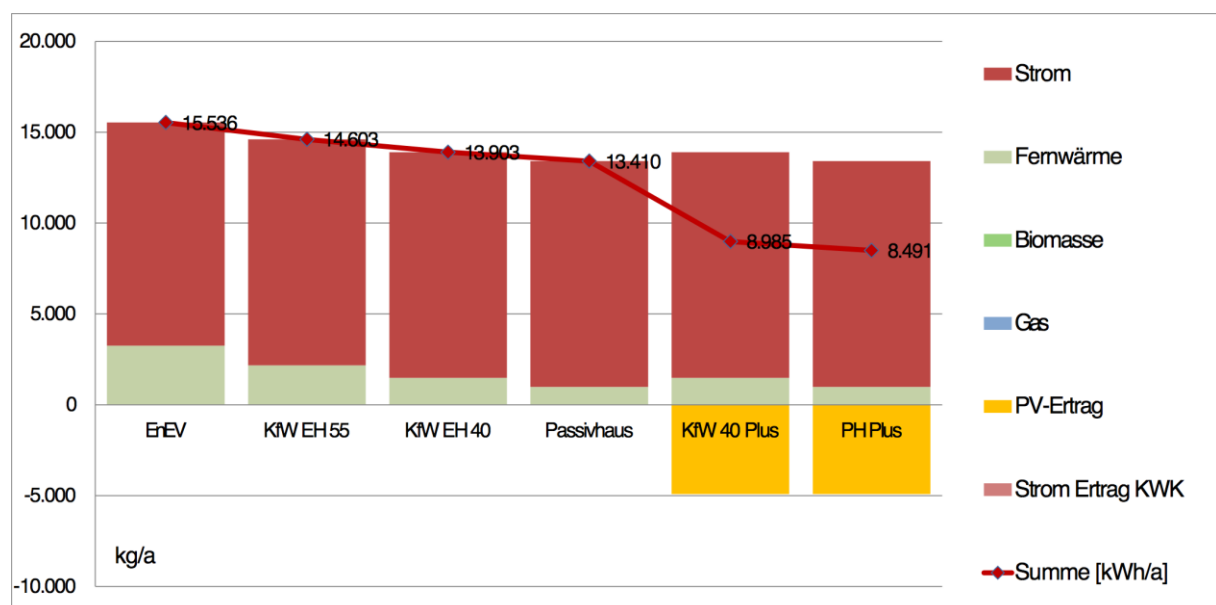


Abb. 35: CO₂-Emissionen in kg/a bei kalter Nahwärme für Typ A

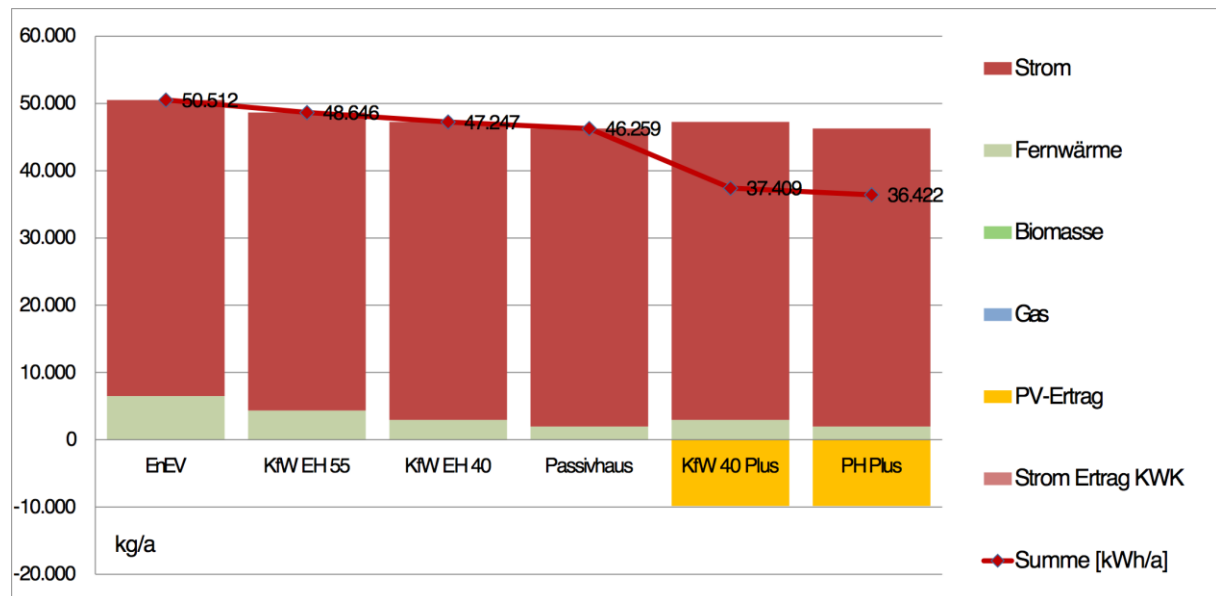


Abb. 36: CO₂-Emissionen in kg/a bei kalter Nahwärme für Typ B

4.5.3. Infrastruktur und weitere Voraussetzungen

Wie bereits für das Nahwärmenetz mit BHKW beschrieben, müssen auch bei einem kalten Nahwärmenetz frühzeitig Trassenführung und Platzbedarf der Wärmeleitungen sowie die Errichtung der Wärmezentrale in der Planung berücksichtigt werden. Viele Wärmelieferanten haben noch nicht dieselbe Erfahrung mit dem Bau und dem Betrieb von kalten Nahwärmenetzen wie mit Hochtemperaturnetzen. Das sollte bei der Ansprache und Auswahl möglicher Wärmelieferanten berücksichtigt werden.

Bei einer Entzugsleistung des Erdreichs von 50 W je m Bohrtiefe und einer angesetzten Jahresarbeitszahl von 4,5 für die Wärmepumpen wird für den Bau des Erdsondenfelds ein Flächenbedarf von ca. 3.000 m² benötigt, um die Gebäude im KfW EH 40-Standard mit Wärme zu versorgen. Werden ausschließlich Gebäude im EnEV-Standard umgesetzt, liegt der Flächenbedarf bei ca. 5.000 m².

Bei der Entscheidung für eine kalte Nahwärme mit Erdsondenfeld muss die Funktion des Feldes sowohl für den Sommer- als auch für den Winterbetrieb simuliert werden. Die tatsächliche Wärmeentzugsleistung des Erdreichs muss über einen „thermal response test“ und eine Probebohrung ermittelt werden, bevor die eigentliche Planung der Anlage begonnen werden kann. Wie für das Nahwärmenetz mit BHKW beschrieben gilt auch für diese Variante, ein hohes Maß an Sicherheit für die Planung und Kalkulation für den Wärmelieferanten zu geben. Ein wesentliches Kriterium dafür ist ein Anschlusszwang.

5. Fazit

Die nachfolgende Übersicht soll dabei unterstützen, die Stärken und Schwächen der in dieser Machbarkeitsstudie untersuchten Versorgungsvarianten zusammenzufassen und eine Empfehlung für die Umsetzung auszusprechen.

Eine große Unsicherheit ist der sehr frühzeitige Planungsstand, der keinerlei Hinweise auf die konkretere Bebauung und Nutzung der Grundstücke und Gebäude erlaubt. Aus diesem Grunde mussten in dieser Machbarkeitsstudie viele Abschätzungen vorgenommen werden, die zu einem späteren Zeitpunkt unbedingt mit den tatsächlichen Parametern überprüft werden müssen. Dennoch können durch diese Machbarkeitsstudie Tendenzen für und gegen einzelne Energiestandards und Versorgungsvarianten gegeben werden.

Nach Abwägung aller Stärken und Schwächen erscheint danach die Umsetzung einer Wärmeversorgung mit dezentralen Luft-Wasser-Wärmepumpen bzw. bei Inkaufnahme etwas höherer Investitionskosten mit Sole-Wasser-Wärmepumpen die größten Vorteile mit sich zu bringen. Sollten die Voraussetzungen einer zentralen Wärmeversorgung geschaffen werden können (insbesondere Anschlusszwang, relativ zeitgleiche Bebauung, Klarheit über den Energiebedarf der einzelnen Gebäude), so könnte die Entwicklung einer Wärmeversorgungsanlage mit kalter Nahwärme eine sinnvolle Wärmeversorgungsvariante sein. Aufgrund der sukzessiv stattfindenden Vermarktung der Grundstücke und der großen Unsicherheit hinsichtlich Größe, Nutzung und Wärmebedarf, erscheint diese zentrale Variante allerdings schwierig umsetzbar zu sein.

Eine zusammengefasste Übersicht der Stärken und Schwächen aller untersuchten Versorgungsvarianten befindet sich in der folgenden Übersicht.

	Gas-BW mit Solarthermie	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	Nahwärme mit BHKW	kalte Nahwärme mit Wärmepumpen
Investitionskosten	Referenzvariante	geringer als Referenz wegen hoher Förderung	ungefähr gleich hoch wie Referenzvariante	- sehr hoch für externen Investor für Wärmenetz - für Hausbesitzer wie Referenzvariante	- sehr hoch für externen Investor für Wärmenetz - für Hausbesitzer wie Referenzvariante
Endenergie Wärme	Referenzvariante	deutlich geringer als Referenzvariante	deutlich geringer als Referenzvariante	selbe Größenordnung wie Referenzvariante	selbe Größenordnung wie Referenzvariante
Betriebskosten	Referenzvariante	geringer als Referenzvariante	geringer als Referenzvariante	abhängig von festgelegtem Wärmepreis des Wärmelieferanten	abhängig vom festgelegten Wärmepreis des Wärmelieferanten
CO₂-Emissionen	Referenzvariante	geringer als Referenzvariante	geringer als Referenzvariante	- geringer als Referenzvariante - aber höher als Wärmepumpenvarianten	geringste Emissionen aller berechneten Varianten
Aufwand Betrieb	moderat (Schornsteinfeger, Wartung)	gering (kein Schornstein, nur ein leitungsgebundener Energieträger im Gebäude)	gering (kein Schornstein, nur ein leitungsgebundener Energieträger im Gebäude)	kein Aufwand, da Wärme per Übergabestation aus dem Nahwärmenetz ins Gebäude kommt	kein Aufwand, da Wärmepumpen im Gebäude im Idealfall im Zuständigkeitsgebiet des Wärmelieferanten
Aufwand Planung	sehr gering, da Stand der Technik	sehr gering, da Stand der Technik	sehr gering, da Stand der Technik	- eigentliche Anlage und Leitungsnetz: sehr gering, da Stand der Technik - allerdings im Zuge der Bauleitplanung hoch, weil Wärmeversorgung frühzeitig mit	- eigentliche Anlage und Leitungsnetz: hoch, da nicht Stand der Technik - im Zuge der Bauleitplanung hoch, weil Wärmeversorgung

				berücksichtigt werden muss	frühzeitig mit berücksichtigt werden muss
Aufwand Infrastruktur	• zwei leitungsgebundene Energieträger im Baugebiet (Gas und Strom) • ansonsten gering	• nur ein leitungsgebundener Energieträger im Baugebiet (Strom) • ansonsten gering	• nur ein leitungsgebundener Energieträger im Baugebiet (Strom) • ansonsten mittel, weil Erdreich erschlossen werden muss	• zwei leitungsgebundene Energieträger im Baugebiet (Wärme und Strom) • Trassenführung und Standorte der Übergabestationen müssen berücksichtigt und frühzeitig geplant werden • hoher Platzbedarf für Sondenfeld	• zwei leitungsgebundene Energieträger im Baugebiet (Wärme und Strom) • Trassenführung und Standorte der Übergabestationen müssen berücksichtigt und frühzeitig geplant werden • hoher Platzbedarf für Sondenfeld
Aufwand Stadt	• gering (Stand der Technik)	• gering (Stand der Technik)	• gering (Stand der Technik)	• höher • Unternehmen für Wärmelieferung muss einbezogen werden • Anschlusszwang muss festgelegt werden	• höher • Unternehmen für Wärmelieferung muss einbezogen werden • Anschlusszwang muss festgelegt werden • hoher Informationsbedarf