

Energetisches Quartierskonzept Eggenstein-Leopoldshafen Neubaubereich N5

Machbarkeitsuntersuchung Nahwärmeversorgung

Bietigheim-Bissingen, März 2022

Energetisches Quartierskonzept Eggenstein – Neubaugebiet N5
Machbarkeitsuntersuchung Nahwärmeversorgung

Auftraggeber: Umwelt- und Energieagentur Kreis Karlsruhe GmbH
Projektnummer: 21010
Dokument: KfW-Quartierskonzept_Eggenstein-Leopoldshafen_Abschlussbericht_Nahwärme_21010.docx

Bietigheim-Bissingen, 17.03.2022



i. A. Daniel Löffler



Patrick Schweizer

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation und Aufgabenstellung	3
2	Grundsätzliches	4
2.1	Blockheizkraftwerk	4
2.1.1	Energiebilanz.....	4
2.1.2	Aufbau.....	5
2.1.3	Stromvergütung.....	5
2.2	Wärmepumpen	6
2.2.1	Funktionsprinzip.....	6
2.2.2	Wärmequellen, Wärmeerzeugung, Antriebsstrom.....	7
2.2.3	Jahresarbeitszahl und Einsatzgrenzen.....	8
2.3	Pelletheizungen	9
2.3.1	Feuerung.....	9
2.3.2	Anlieferung.....	10
2.3.3	Brennstofflagerung und Austragung.....	10
2.3.4	Entaschung und Ascheentsorgung.....	10
2.4	Nahwärmeversorgung	11
2.4.1	Vorteile einer Nahwärmeversorgung.....	12
3	Grundlegenden Daten	13
3.1	Neubaugebiet „N5“	13
3.2	Wärmebedarf Neubaugebiet	13
3.3	Kommunale Gebäude	14
4	Aufbau einer Nahwärmeversorgung	16
4.1	Hintergrund	16
4.2	Heizzentrale und Versorgung Neubaugebiet	17
4.3	Heizzentrale kommunale Gebäude	18
4.4	Zeitlicher Ablauf Aufbau Wärmeversorgung	19
5	Energiebilanzen	21
5.1	Wärmeversorgung Neubaugebiet	21
5.2	Wärmeversorgung kommunale Gebäude	22
5.3	Wärmeversorgung insgesamt (Neubaugebiet mit kommunalen Gebäuden)	23
6	Investitionskosten	25
6.1	Förderung	26
6.1.1	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG).....	26
6.1.2	Geplante Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW).....	27
6.2	Erschließungskostenbeiträge bzw. Baukostenzuschüsse	27
6.3	Übersicht Investitionskosten	28
7	Wirtschaftlichkeit	29
7.1	Grundlagen	29
7.2	Energiepreise	29
7.3	Wärmepreise	30
7.4	Jahreskosten und Erlöse	31
7.5	Heizkostenvergleich aus Abnehmersicht	32
8	Umweltbilanz	33
9	Fazit	33

1 Ausgangssituation und Aufgabenstellung

Die Umwelt- und Energieagentur Kreis Karlsruhe GmbH wurde mit der Erstellung eines integrierten Quartierskonzeptes für Eggenstein-Leopoldshafen beauftragt. Die IBS Ingenieurgesellschaft mbH erarbeitete dabei im Unterauftrag der UEA ein Nahwärme-konzept für das Neubaugebiet N5 im Zusammenhang mit den südlich davon gelegenen öffentlichen Gebäuden.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Gebietsabgrenzung des Energiequartiers Eggenstein-Leopoldshafen dargestellt. Für das geplante Neubaugebiet N5 am nord-östlichen Rand des Quartiers sowie für die südlich gelegenen öffentlichen Gebäude wurde der Aufbau eines Wärmenetzes untersucht.

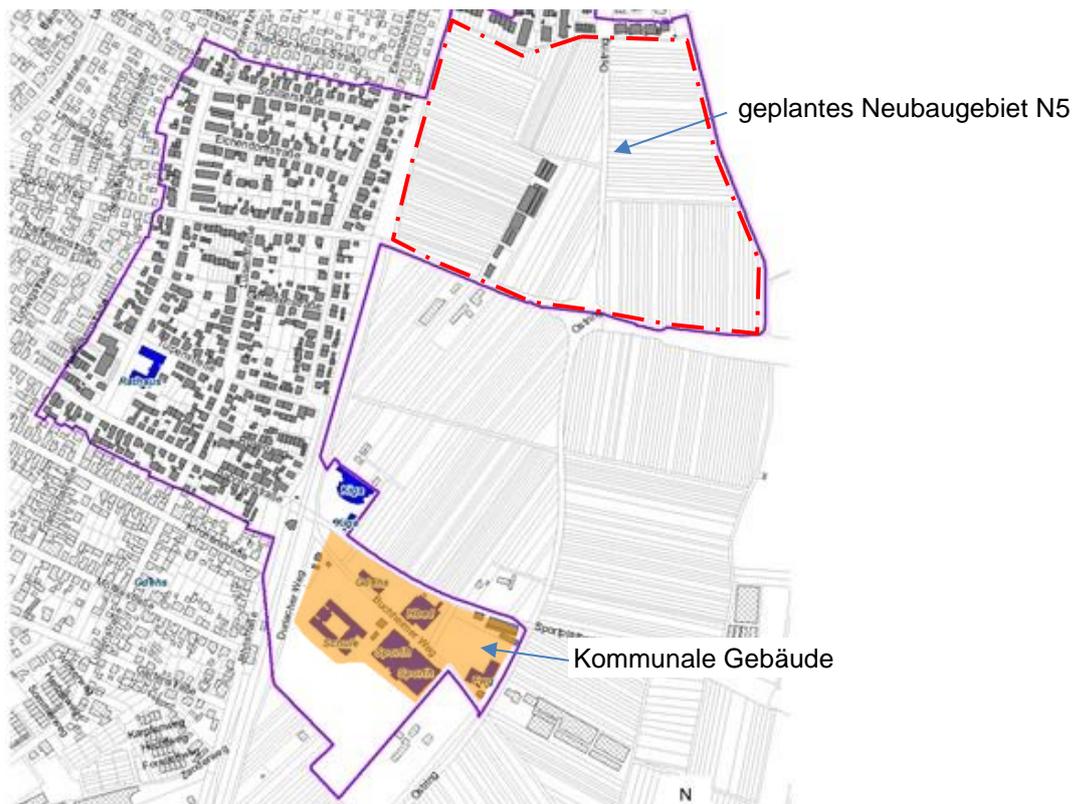


Abb. 1: Gebietsgrenze Quartierskonzept (lila) und Bereich Nahwärme-konzeption (rot)

Das Nahwärme-konzept sieht vor, am Neubaugebiet eine Energiezentrale zu errichten, die stufenweise erweitert werden kann. So kann zunächst das Neubaugebiet mit Wärme versorgt und in einem zweiten Schritt eine Heizzentrale bei den kommunalen Gebäuden errichtet werden. Eine verbindende Wärmeleitung ermöglicht Synergien zwischen beiden Heizzentralen. Die Heizzentrale der kommunalen Gebäude ergänzt und erneuert die bisherige Wärme- und Stromversorgung der kommunalen Gebäude.

Die Wärmeerzeugung soll möglichst CO₂-arm erfolgen. Hierzu wurden die folgenden Technologien in Betracht gezogen:

- Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Blockheizkraftwerk
- Pelletheizung

Die Aufgabenstellung war, die Möglichkeit einer Nahwärmeversorgung bezüglich Standort, Technik und Wirtschaftlichkeit zu untersuchen.

2 Grundsätzliches

2.1 Blockheizkraftwerk

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist das Prinzip, die bei der Stromerzeugung anfallende Abwärme zu Heizzwecken einzusetzen. Als Blockheizkraftwerke (BHKW) bezeichnet man Anlagen mit Verbrennungsmotor zur gekoppelten Wärme- und Stromerzeugung, die einen abgegrenzten dezentralen Bereich versorgen.

2.1.1 Energiebilanz

In Großkraftwerken werden nur etwa 40 % der eingesetzten Primärenergie in elektrischen Strom umgewandelt. Die restliche Energie wird in Form von Abwärme an Flüsse oder an die Atmosphäre abgegeben. Bei der Verteilung des Stroms vom Kraftwerk zum Endverbraucher über Hochspannungsleitungen und Transformatoren treten zusätzlich Verluste in Höhe von ca. 5 % auf. Die Wärme für Heizzwecke wird in der Regel vor Ort beim jeweiligen Verbraucher durch Heizkessel bereitgestellt. Der energetische Vorteil der KWK besteht im Vergleich zu dieser getrennten Erzeugung von Strom und Wärme in der besseren Energieausnutzung.

Aus dem nachfolgenden Energieflussbild wird ersichtlich, dass sich aufgrund der besseren Energieausnutzung bei der KWK im Vergleich zur getrennten Wärme- und Stromerzeugung ein um 50 % geringerer Energieeinsatz ergibt. Der Grund hierfür ist, dass bei der Stromerzeugung in Großkraftwerken ein Großteil der Energie über Kühltürme ungenutzt an die Umgebung abgegeben werden muss.

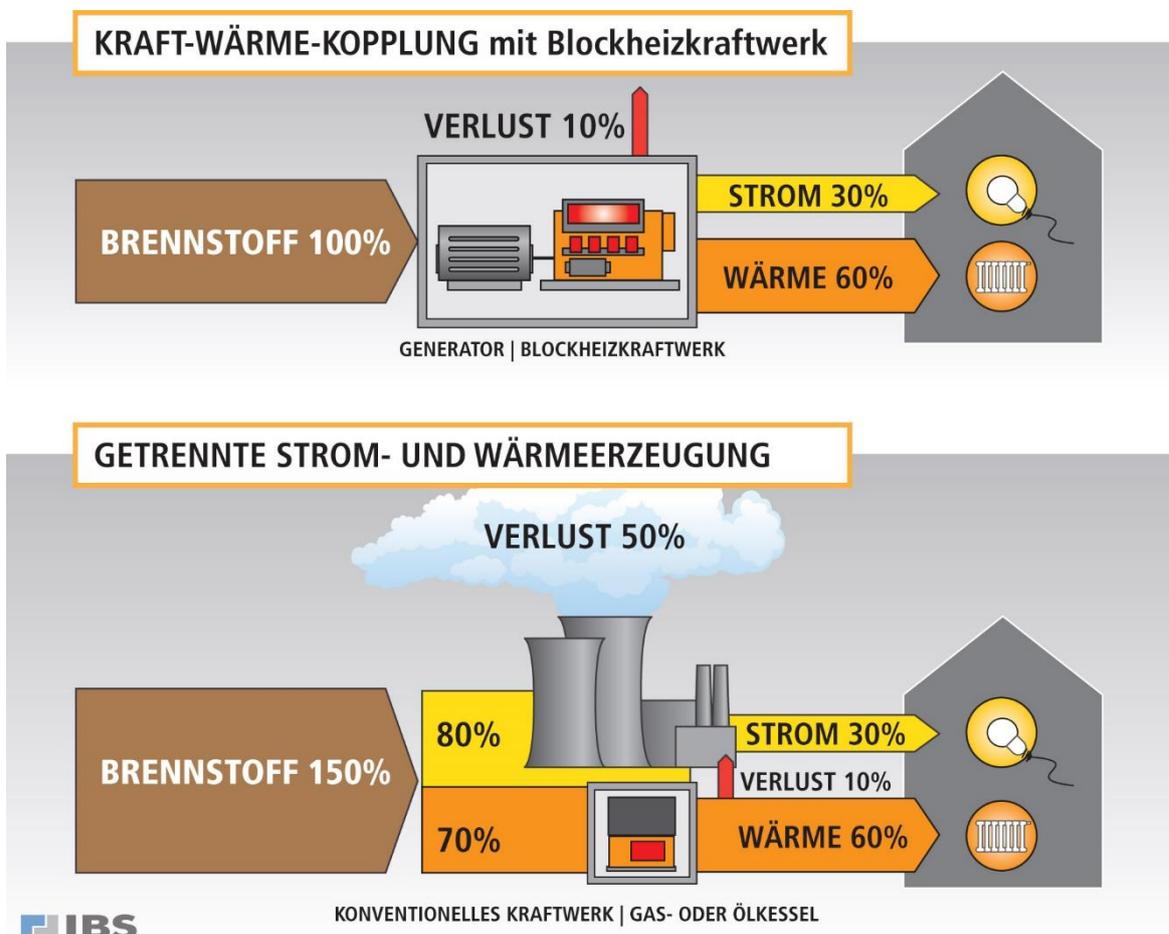


Abb. 2: Vergleich der Energieflüsse bei der Kraft-Wärme-Kopplung mit der getrennten Stromerzeugung im Kraftwerk und Wärmeerzeugung im Heizkessel

2.1.2 Aufbau

Die wesentlichen Anlagenteile eines Blockheizkraftwerkes sind:

- Verbrennungsmotor
- Generator
- Wärmetauscher
- Schaltschränke

Der Verbrennungsmotor treibt den Generator an, der die mechanische Energie in elektrische Energie umwandelt. Die hierbei entstehende Abwärme aus Motor und Generator wird über die Wärmetauscher dem Heizungsnetz zugeführt. Sämtliche Anlagenteile sind kompakt in einer Schallschutzhaube angeordnet.

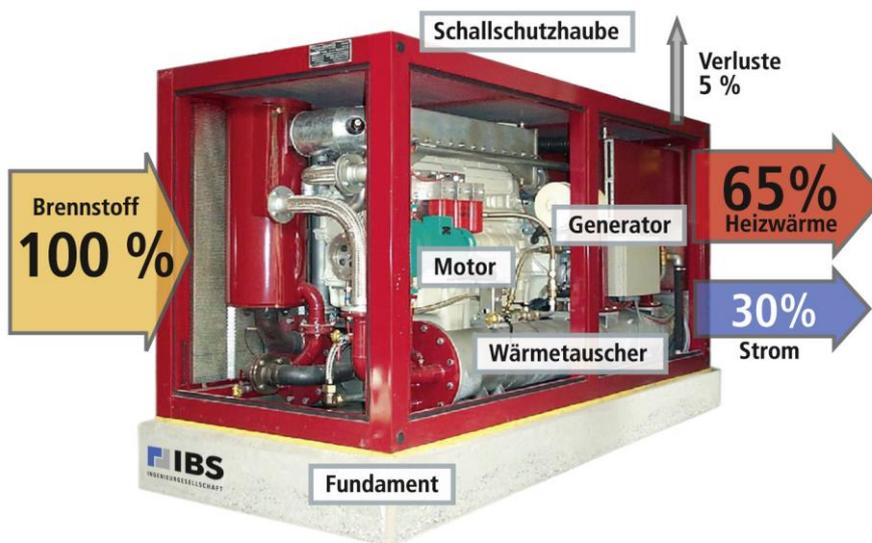


Abb. 3: wesentliche Bestandteile und Energiebilanz eines Blockheizkraftwerkes

2.1.3 Stromvergütung

Neben der Wärmeerzeugung werden Blockheizkraftwerke zur **Eigenstromerzeugung** und zur **Einspeisung in das öffentliche Stromnetz** eingesetzt. Bei Eigenstromnutzung senken sich der Strombezug vom Energieversorgungsunternehmen (EVU) und somit die Strombezugskosten.

Üblicher Preis

Erzeugt das Blockheizkraftwerk mehr Strom als momentan im Objekt verbraucht wird, fließt dieser automatisch in das Netz des EVU zurück, was als Rücklieferung oder Einspeisung bezeichnet wird. Die eingespeiste Strommenge wird über einen Rücklieferzähler gemessen und ist vom EVU entsprechend zu vergüten (Einspeiseerlös).

Als Einspeisepreis (üblicher Preis nach KWKG) gilt der mittlere Base-Load-Preis des vorangegangenen Quartals der Strombörse Leipzig (EEX).

KWK-Zulage

Entsprechend dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) ist vom Netzbetreiber für den gesamten vom BHKW erzeugten Strom die KWK-Zulage zu entrichten. Die Höhe der Zulage richtet sich nach der installierten elektrischen Leistung des BHKW und ob der Strom im Objekt genutzt oder zurückgespeist wird.

2.2 Wärmepumpen

2.2.1 Funktionsprinzip

Die Wärmepumpe entzieht der Umgebung Wärme mit niedriger Temperatur (z. B. Luft mit 10 °C) und bringt sie auf ein höheres Temperaturniveau (z. B. Heizwasser mit 70 °C). Hierzu ist nur ein Anteil von ca. 33 % an hochwertiger Energie (Strom) für die Antriebstechnik notwendig. Etwa 66 % der Heizwärme stammen aus der jeweiligen Wärmequelle.

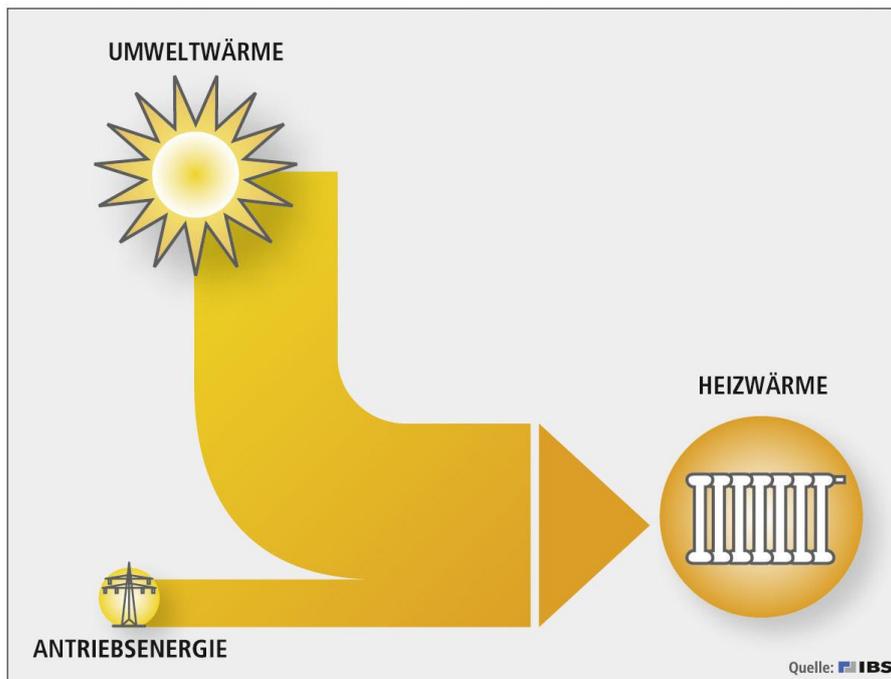


Abb. 4: Energieflussdiagramm einer Wärmepumpe



Abb. 5: Wärmepumpe mit Wärmespeicher

Das Herzstück einer Wärmepumpe bildet der Kältekreislauf. Dieser beinhaltet den Verdampfer, Verdichter, Verflüssiger und das Entspannungsventil. Die einzelnen Komponenten sind über eine mit Kältemittel (FCKW-freies Arbeitsmedium) gefüllte Rohrleitung verbunden und bilden einen hermetischen, d. h. geschlossenen Kreislauf.

Über den Verdampfer nimmt das flüssige Kältemittel aus der Umgebung vorhandene Energie auf und verdampft. Anschließend wird das gasförmige Kältemittel im Verdichter komprimiert und gleichzeitig durch die Kompression auf ein höheres, zu Heizzwecken nutzbares Temperaturniveau angehoben. Im Verflüssiger (Kondensator) gibt der heiße Arbeitsmitteldampf Wärme an das Heizsystem ab und kondensiert.

Beim anschließenden Durchströmen des Entspannungsventils wird das flüssige Kältemittel entspannt und gelangt wieder in seinen Ausgangszustand. Das Arbeitsmittel wird nun in den Verdampfer zurückgeführt. Der Wärmepumpenprozess kann wieder von Neuem beginnen.

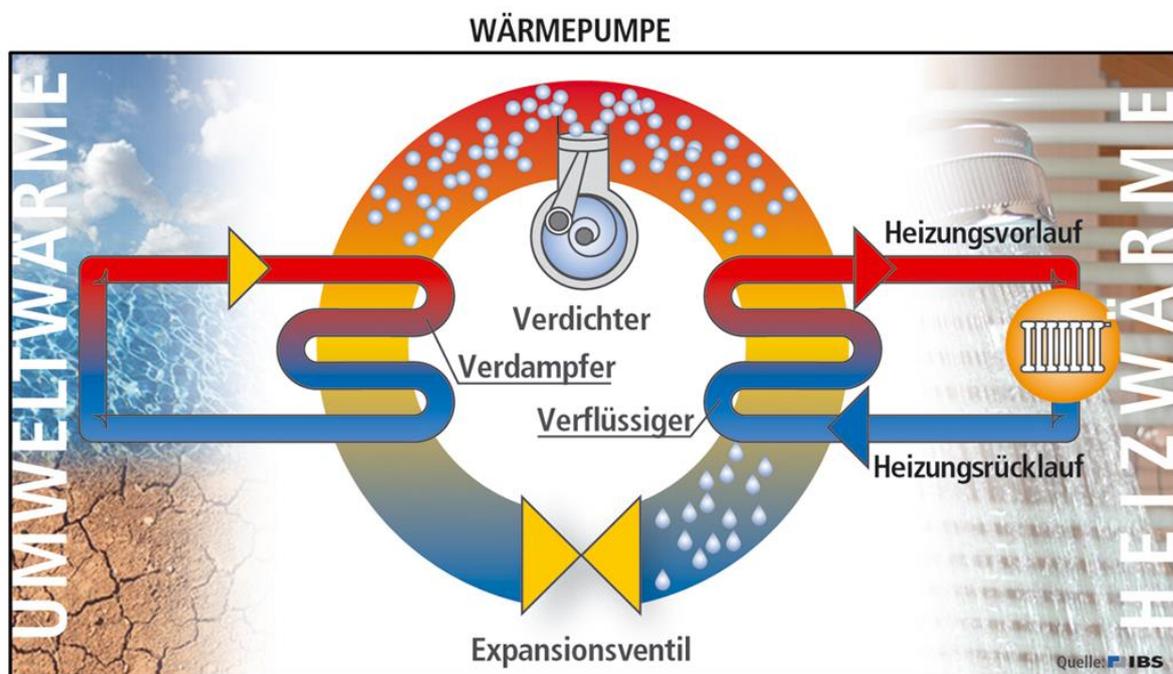


Abb. 6: Funktionsprinzip der Wärmepumpe

2.2.2 Wärmequellen, Wärmeerzeugung, Antriebsstrom

Mit Wärmepumpen kann allen geeigneten Wärmequellen (Verfügbarkeit, Temperaturniveau Quelle und Erzeugung, Erschließungsaufwand etc.) Wärme entzogen werden. So kommen u. a. Außenluft, Abwasser, Grundwasser, Fluss- oder Seewasser, Erdwärme sowie auch Abwärme (bspw. aus Verbrennungsprozessen, industriellen Anwendungen u.a.m.) oder Solarstrahlung als Wärmequellen zum Einsatz.

Die Wärmeerzeugung erfolgt durch Wärmeentzug der jeweiligen Wärmequelle und unter Einsatz elektrischer Energie. Der benötigte Antriebsstrom kann aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen werden. Aufgrund des relevanten Stromeinsatzes bietet es sich meist an, nach Möglichkeit auch Stromerzeugungsanlagen wie beispielsweise Photovoltaikanlagen oder Blockheizkraftwerke zu errichten und ggf. in der Eigenstromnutzung einzubinden.

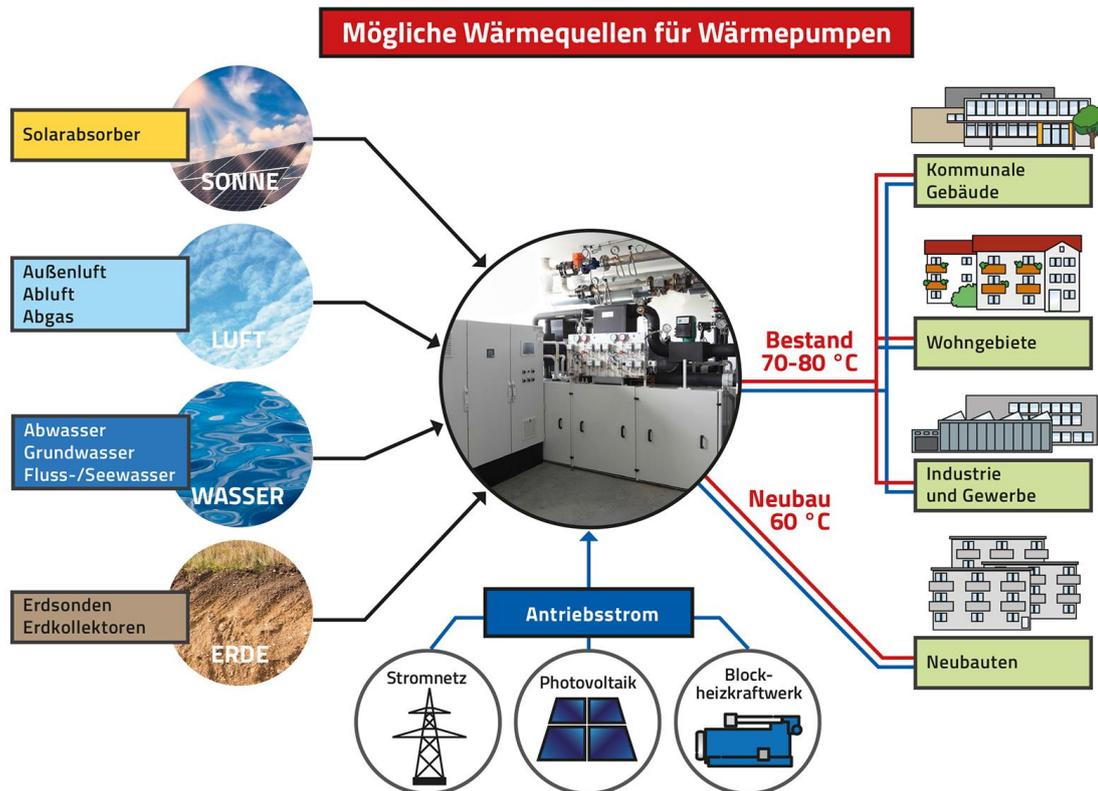


Abb. 7: Funktionsprinzip der Wärmepumpe

2.2.3 Jahresarbeitszahl und Einsatzgrenzen

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe gibt an, wieviel Heizwärme im Verhältnis zum Stromeinsatz erzeugt wird. Diese Kennzahl gibt somit an, wie effizient die Wärme erzeugt wird. Je größer die Jahresarbeitszahl, desto weniger Strom muss aufgewendet werden und desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe. Grundsätzlich gilt:

- Je höher die Temperatur der Wärmequelle und je niedriger die erforderliche Temperatur des Heizsystems ist, desto höher ist die Jahresarbeitszahl.
- Die erreichbare Heizungsvorlauftemperatur liegt üblicherweise bei maximal 65 - 70 °C. Spezielle Hochtemperatur-Wärmepumpen können auch höhere Vorlauftemperaturen erzeugen.
- Die Quellen-Temperatur kann theoretisch zwischen -15 °C und +30 °C betragen, bei entsprechend geringer Arbeitszahl bei tiefen Temperaturen.

2.3 Pelletheizungen

Moderne Pelletheizungen sind aufgrund des hohen Automatisierungsgrades von Brennstoffzufuhr und Verbrennung einfach und komfortabel zu bedienen. Der Brennstoff wird mithilfe von Fördersystemen automatisch vom Vorratsbehälter in den Feuerraum des Heizkessels transportiert. Eine Pelletheizung besteht im Wesentlichen aus folgenden Bestandteilen:

- Pelletkessel
- Brennstofflager
- Austrage- und Brennstofftransportsystem
- Abgasanlage

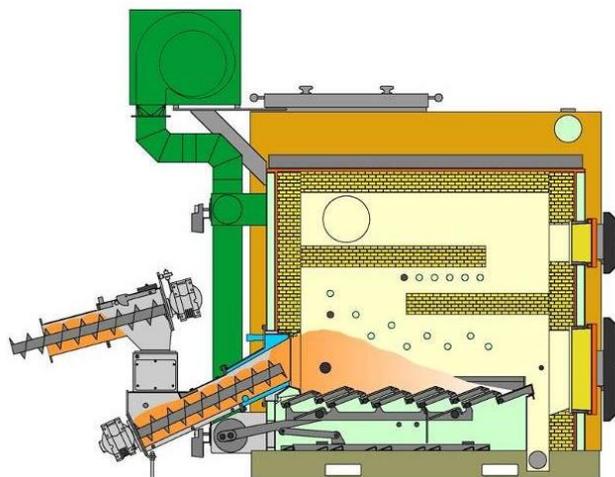
2.3.1 Feuerung



Pelletkessel im kleineren und mittleren Leistungsbereich sind meistens mit einer *Unterschubfeuerung* ausgestattet. Dabei werden die Pellets mittels einer Förderschnecke geregelt in Abhängigkeit der Heizlast von unten in einen Brennteller gedrückt und verbrennen dort. Die Asche fällt über den Teller rand in den darunterliegenden Aschebehälter.

Abb. 8: Schnittzeichnung Pelletkessel mit Unterschubfeuerung und Foto Brennteller

Die Leistung des Brenners wird über die Brennstoffzufuhr geregelt. Der Kessel kann bis ca. 30 % seiner Nennleistung kontinuierlich geregelt werden. Unterhalb dieser Kleinstlast schaltet die Feuerung ab und wird bei Bedarf automatisch durch ein Heißluftgebläse wieder gezündet.



Bei Kesseln größerer Leistung finden häufig sogenannte *Rostfeuerungen* Verwendung, die auch für den Einsatz von Holzschnitzeln geeignet sind. Das Brenngut wird mit Schnecken in den Feuerraum gefördert und fällt dort auf den Verbrennungsrast. Auf dem Rast wird das Brenngut durch die hydraulisch angetriebene Rastbewegung verteilt und wandert dadurch in die Verbrennungszone.

Abb. 9: Schnittzeichnung Holzessel mit Rostfeuerung

2.3.2 Anlieferung

Pellets werden mit Tank- oder Motorwagen (25 t bzw. 15 t) angeliefert. Ein bis zu 30 m langer Schlauch wird an den Befüllstutzen des Lagers angeschlossen und die Pellets mit niedrigem Druck eingblasen. Parallel wird ein Sauggebläse mit Staubsack am Absaugstutzen angeschlossen und Luft aus dem Lagerraum abgesaugt, um den Staub aus dem Luftstrom abzuschneiden. Die gelieferte Menge wird durch die geeichte Wiegeeinrichtung des LKW erfasst.



Abb. 10: Anlieferung Pellets mit Motorwagen

2.3.3 Brennstofflagerung und Austragung

Zur Bevorratung der Pellets bestehen grundsätzlich folgende Möglichkeiten:

- Einrichtung eines Lagers in einem vorhandenen Raum im Gebäude.
- Anbau eines unterirdischen vorgelagerten Raumes.
- Einbau eines unterirdischen vorgefertigten Erdtanks.
- Aufstellung eines oberirdischen Silos.

Die Austragung der Pellets kann mit unterschiedlichen Systemen erfolgen:

- Förderschnecken oder Federkern-Rührwerk mit Förderschnecke
- Sauggebläse

Das erste System findet vorwiegend bei der Lagerung in Räumen Verwendung, während Saugsysteme bei Tanks zum Einsatz kommen oder wenn aufgrund der Anordnung der Räumlichkeiten eine Austragung mit Schnecken zu aufwendig wäre.

2.3.4 Entaschung und Ascheentsorgung

Die bei der Verbrennung entstehende Asche wird entweder mit Ascheschnecken automatisch aus dem Kessel in einen daneben aufgestellten Aschebehälter befördert oder fällt direkt in einen Behälter, der sich unter dem Brenner befindet.

Bei Pellets ist der Ascheanfall gering (ca. 0,5 %) und die Asche kann mit dem normalen Hausmüll entsorgt werden.

2.4 Nahwärmeversorgung

Die Wärmeverteilung erfolgt über ein erdverlegtes Wärmenetz. Hierbei werden Stahlrohre mit Wärmedämmung und Kunststoffummantelung (Kunststoffmantelrohre KMR) oder auch flexible Kunststoffrohre (sogenannte PEX-Rohre) mit entsprechender Wärmedämmung eingesetzt. Häufig werden die Leitungen als Doppelrohre ausgeführt, das heißt Vorlauf- und Rücklaufleitung befinden sich in einem gemeinsamen Mantelrohr.

Das Wärmenetz besteht aus Hauptleitungen, die in Straßen oder Gehwegen verlegt und aus Hausanschlussleitungen, über welche die Verbraucher an die Wärmeversorgung angeschlossen werden. Die Wärmeübergabe erfolgt mittels Übergabestationen (meist mit Wärmetauscher), welche bei jedem Abnehmer eingebaut werden.

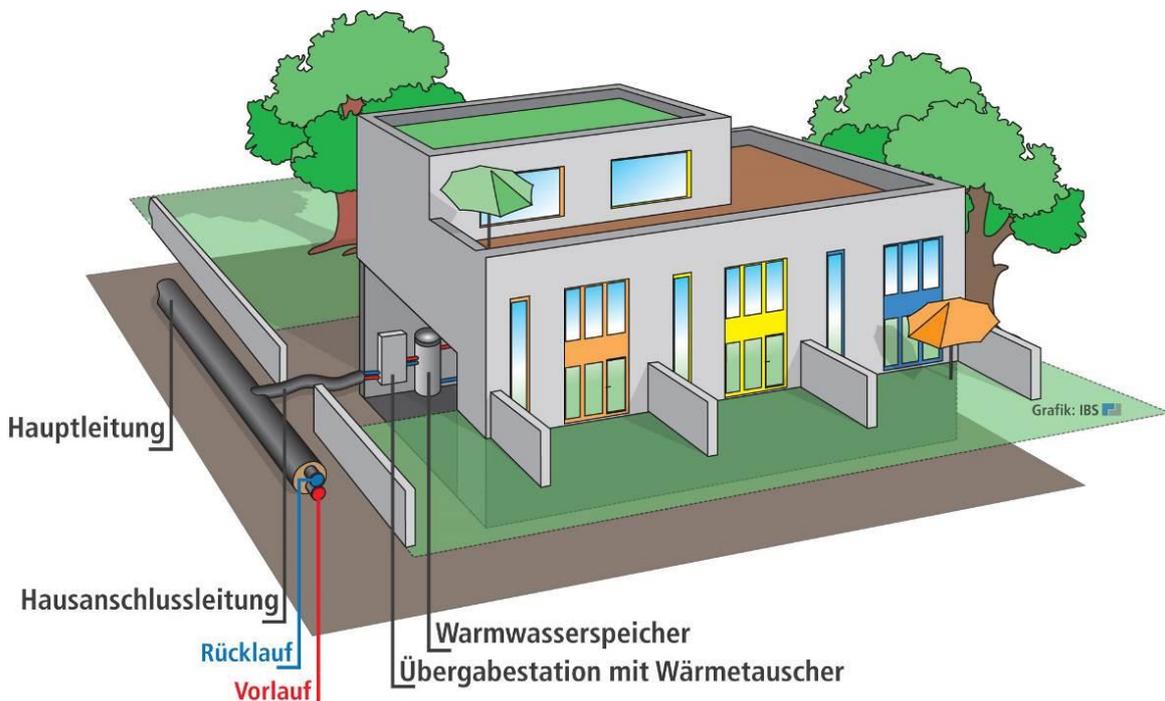


Abb. 11: schematische Darstellung einer Nahwärmeversorgung



Abb. 12: KMR-Duo-Rohr



Abb. 13: Verlegung KMR-Rohr

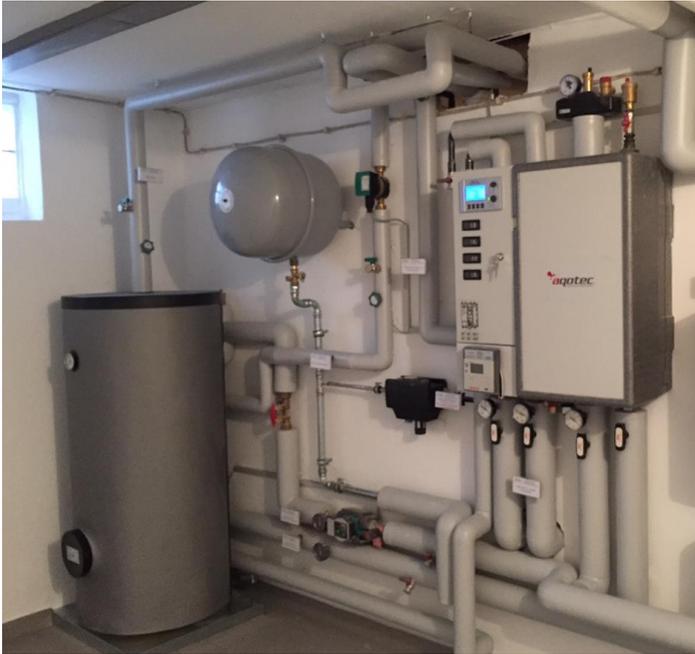


Abb. 14: Übergabestation (rechts) und Warmwasserspeicher (links)

2.4.1 Vorteile einer Nahwärmeversorgung

Für den Kunden

- Versorgung über Jahrzehnte
- hohe Versorgungssicherheit
- aufwendige Anlagenerneuerung entfällt
- Erneuerbare-Wärme-Gesetz erfüllt
- Effizienzhaus-Standard möglich → Anreiz für Sanierungen wird geschaffen
- geringerer Raumbedarf für Technik
- geräuschloser Betrieb
- geringe Betriebskosten (Wartung/Instandhaltung usw.)
- gedämpfte Preisänderung durch kalkulierbare Kostenanteile

Für den Betreiber

- Wärmeverkauf als wirtschaftliche Einnahmequelle
- zukünftige Weiterentwicklung der Energieerzeugung möglich
- Einsatz regenerativer Energieträger und effizienter Kraft-Wärme-Kopplung
- Ausbau des Wärmnetzes und Nachverdichtung möglich

3 Grundlagendaten

3.1 Neubaugebiet „N5“

Nachfolgend ist der städtebauliche Entwurf des Neubaugebiets dargestellt.



Abb. 15: städtebaulicher Entwurf Neubaugebiet „N5“ (Gemeinde Eggenstein-Leopoldshafen)

Die Bebauung des Gebiets erfolgt fast ausschließlich zu Wohnzwecken mit Mehrfamilien-, Einzel-, Reihen- und Doppelhäusern. Zudem sind Gebäude für Seniorenwohnen und Kindergarten vorgesehen. Nach städtebaulichem Entwurf sollen 207 Gebäude mit insgesamt 771 Wohneinheiten entstehen.

3.2 Wärmebedarf Neubaugebiet

Nach Berechnungen der greenbcert GmbH ergibt sich im Neubaugebiet eine Wohnfläche von rund 89.000 m² sowie eine Energiebezugsfläche von rund 81.000 m². Der Gesamtwärmebedarf aller Gebäude wurde ermittelt für Bebauung nach Mindeststandards des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) sowie nach KfW-55-Standard und KfW-40Plus-Standard:

Gesamtwärmebedarf Baustandard GEG	rd. 5.500.000 kWh/a
Gesamtwärmebedarf Baustandard KfW-55	rd. 4.800.000 kWh/a
Gesamtwärmebedarf Baustandard KfW-40Plus	rd. 3.400.000 kWh/a

Für die weiterhin folgenden Berechnungen wird der Wärmebedarf beim voraussichtlichen Baustandard KfW-55 zugrunde gelegt.

3.3 Kommunale Gebäude

Im südöstlichen Bereich des Quartiers befinden sich mehrere öffentliche Gebäude (Hallenbad, Feuerwehrgerätehaus, Gemeinschaftsschule und Sporthallen). Diese verfügen aktuell bereits über einen Wärmeverbund und werden aus gemeinsamen Erzeugungsanlagen (Solarthermie und Gaskessel) versorgt.

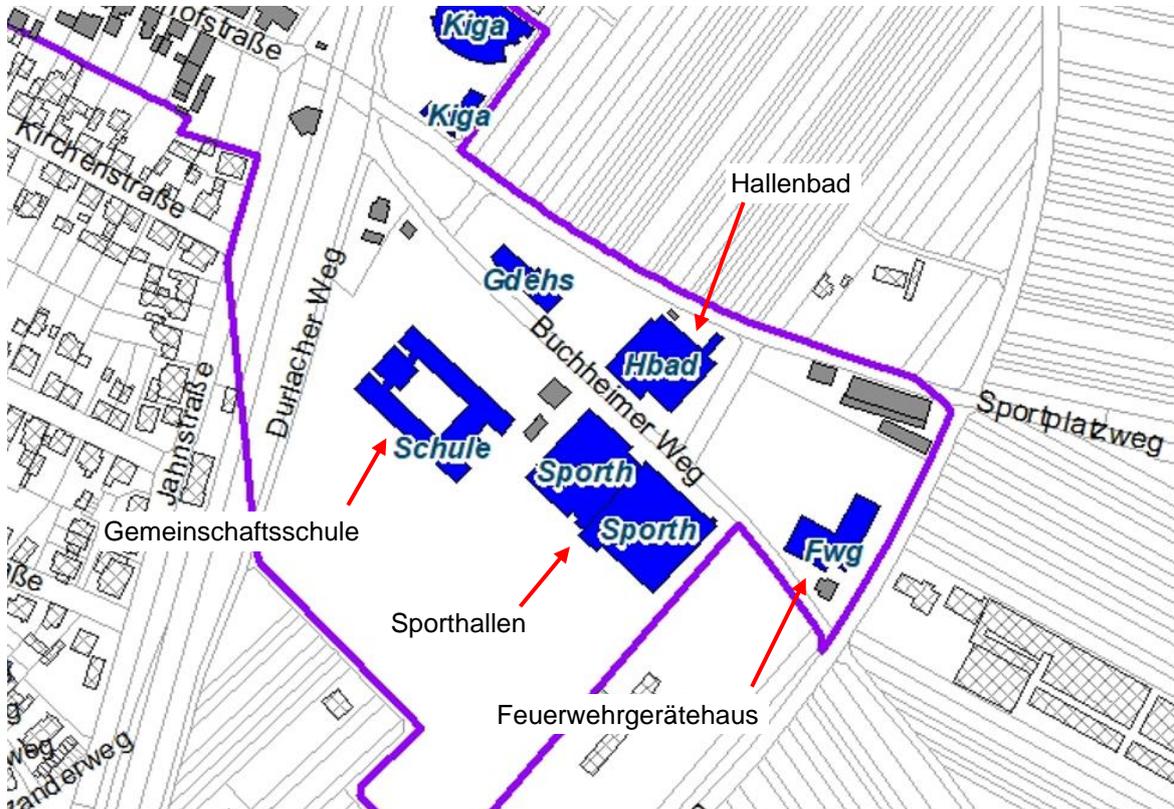


Abb. 16: Wärmedichte im Bestand



Abb. 17: Wärmeerzeuger kommunaler Wärmeverbund (Gaskessel links, Solarthermie rechts)

Der gemeinsame Wärmeverbund weist über die Jahre 2015 bis 2019 einen durchschnittlichen Erdgasverbrauch der Gaskessel (2 x 600 kW, Baujahr 2002) von rund 1.610.000 kWh H_s/a (≈ rund 1.460.000 kWh H_i/a) auf. Zudem besteht eine Solarthermieanlage mit rund 1.600 m², welche allerdings momentan nur teilweise die theoretisch möglichen Solarerträge in der Wärmeversorgung unterbringen kann. Unter Berücksichtigung von geschätzten Erträgen der Solarthermieanlage ergibt sich folgender Wärmeverbrauch im genannten Wärmeverbund:

Wärmeverbrauch Erdgas	1.240.000 kWh/a
Wärmeverbrauch Solarthermie (geschätzt)	220.000 kWh/a
Wärmeverbrauch Wärmeverbund kommunale Gebäude	1.460.000 kWh/a

Der Gesamtstrombedarf der genannten kommunalen Gebäude betrug in den Jahren 2015 bis 2019 durchschnittlich:

Strombedarf kommunale Gebäude	630.000 kWh/a
--------------------------------------	----------------------

4.2 Heizzentrale und Versorgung Neubaugebiet

Abb. 19 zeigt das konzipierte Wärmenetz für das Neubaugebiet.



Abb. 19: Wärmenetz Neubaugebiet

Das Wärmenetz im Neubaugebiet wird als „LowEX-Wärmenetz“ mit konzipiert. Dabei kommen möglichst niedrige Vor- und Rücklauftemperaturen zum Einsatz. Die Vorlauf-temperaturen können je nach Außentemperatur zwischen 55 und 65 °C gleitend gefahren werden. Durch entsprechende Einbindung der Wärmeversorgung in den Gebäuden wird ein Rücklauf-temperaturniveau von etwa 30 °C angestrebt.

Für das Neubaugebiet wird davon ausgegangen, dass alle Gebäude über die Nahwärme versorgt werden. Die Versorgung des Neubaugebiets erfolgt von einer neu zu errichtenden Heizzentrale am südöstlichen Ende des Baugebiets. Zudem wird über eine Verbindungsleitung ein Wärmeverbund mit den kommunalen Gebäuden hergestellt. Folgende Wärmeerzeuger werden in der Heizzentrale des Neubaugebiets vorgesehen:

- Luft-Wärmepumpe 750 - 1.200 kW_{th} (Alternative: Wärmequelle Brunnenwasser)
- BHKW 100 kW_{el}/160 kW_{th}
- Gaskessel zur Absicherung
- Wärmespeicher 200 m³
- Photovoltaik-Anlage 500 kW_p¹

¹ Errichtung der Photovoltaikanlage auf den Dächern der öffentlichen Gebäude im Gebiet und an der Lärmschutzwand (mit Lieferung des erzeugten Stroms an die Heizzentrale/Wärmepumpe).

Den möglichen Aufstellplan der Heizzentrale zeigt Abb. 20.

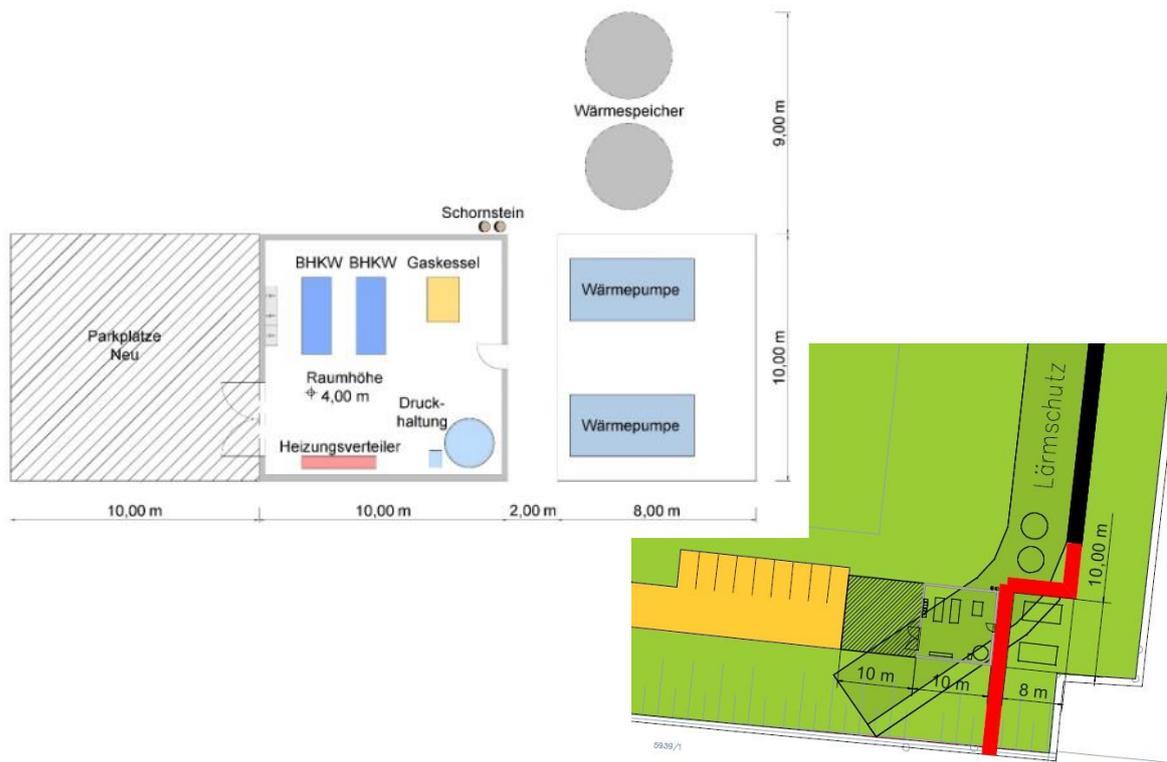


Abb. 20: Aufstellungsplan Heizzentrale Neubaugebiet N5

4.3 Heizzentrale kommunale Gebäude

Die kommunalen Gebäude werden aktuell bereits aus einer gemeinsamen Heizzentrale versorgt. Aufgrund des hohen Stromverbrauchs auf dem Areal der öffentlichen Gebäude und um den Anteil der rein fossil betriebenen Erdgaskessel zu reduzieren, bietet es sich an, hier weitere Wärmeerzeuger zuzubauen.

Da diese nicht mehr im aktuellen Heizraum untergebracht werden können, wird eine neue Heizzentrale auf dem Areal vorgesehen. Blockheizkraftwerke in Grund- und Mittellast können einen erheblichen Anteil zur Eigenstromversorgung des Areals beitragen. Diese kann über die Sommermonate durch eine Photovoltaikanlage auf dem Dach des Hallenbades weiter erhöht werden. Über die Verbindungsleitung zur Heizzentrale im Neubaugebiet kann diese Heizzentrale beiden Gebieten von Vorteil sein.

Folgende Wärmeerzeuger werden in der neuen Heizzentrale der kommunalen Gebäude vorgesehen:

- 2 Blockheizkraftwerke je $50 \text{ kW}_{el}/100 \text{ kW}_{th}$
- Pelletkessel 2 x 450 kW
- Wärmespeicher 40 m^3
- Photovoltaik-Anlage Hallenbad 100 kW_p

Die bestehende Heizzentrale der kommunalen Gebäude mit Solarthermieanlage und 2 Gaskesseln bleibt hiervon unberührt.

Den Aufstellungsplan der Heizzentrale zeigt folgende Abbildung:

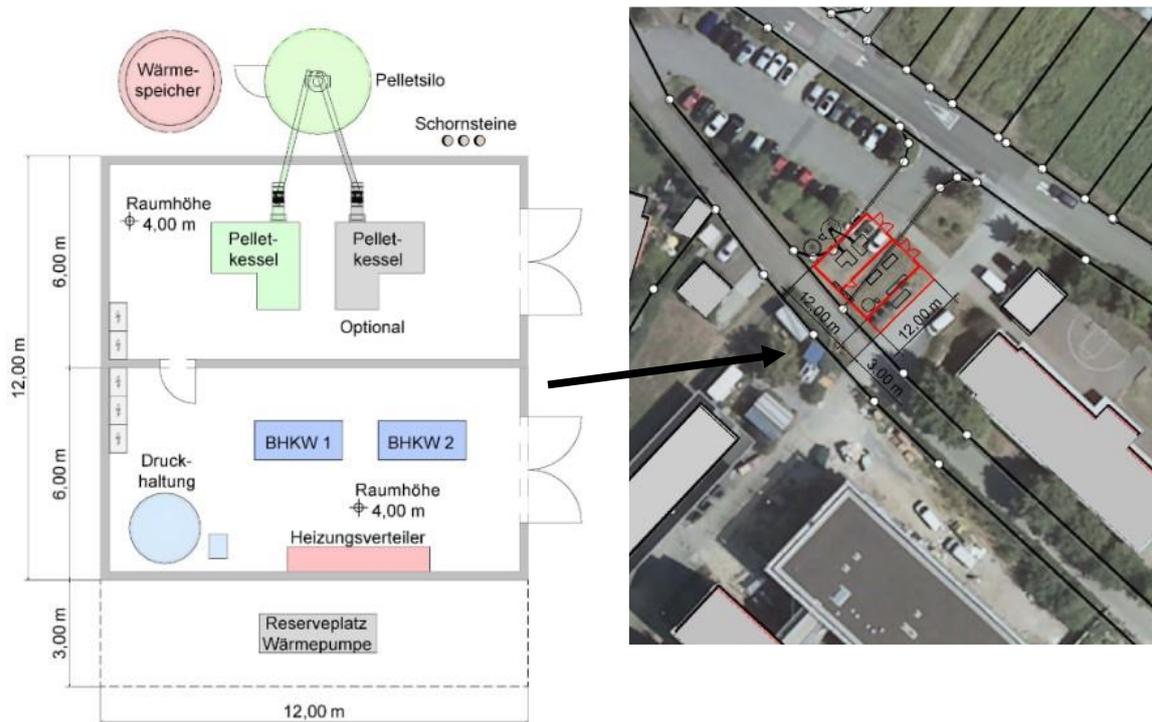


Abb. 21: Aufstellungsplan Heizzentrale kommunale Gebäude

4.4 Zeitlicher Ablauf Aufbau Wärmeversorgung

Entsprechend der Aufsiedelung im Neubaugebiet kann der Aufbau der Wärmeversorgung schrittweise erfolgen. Mit dem Aufbau des Wärmenetzes im Neubaugebiet kann von der dortigen Heizzentrale mit der anfänglich nur teilweise benötigten Wärmeversorgung begonnen und die Wärmeerzeuger dort schrittweise zugebaut werden.

Im weiteren Aufsiedelungsverlauf sollte die Verbindungsleitung zu den kommunalen Gebäuden fertiggestellt werden, so dass Wärme aus der Solarthermieanlage im Neubaugebiet eingesetzt werden kann. Anschließend sollte auch die neue Heizzentrale der kommunalen Gebäude aufgebaut und eingebunden werden. Über das vorliegende Versorgungskonzept hinaus, kann die Wärmeerzeugung aus der Heizzentrale der kommunalen Gebäude auch gesteigert werden, um ggf. sukzessive eine Wärmeversorgung in Bestandsgebiete westlich der öffentlichen Gebäude hinein aufzubauen.

Die folgende Abbildung zeigt schematisch den zeitlichen Aufbau der Versorgungslösung.

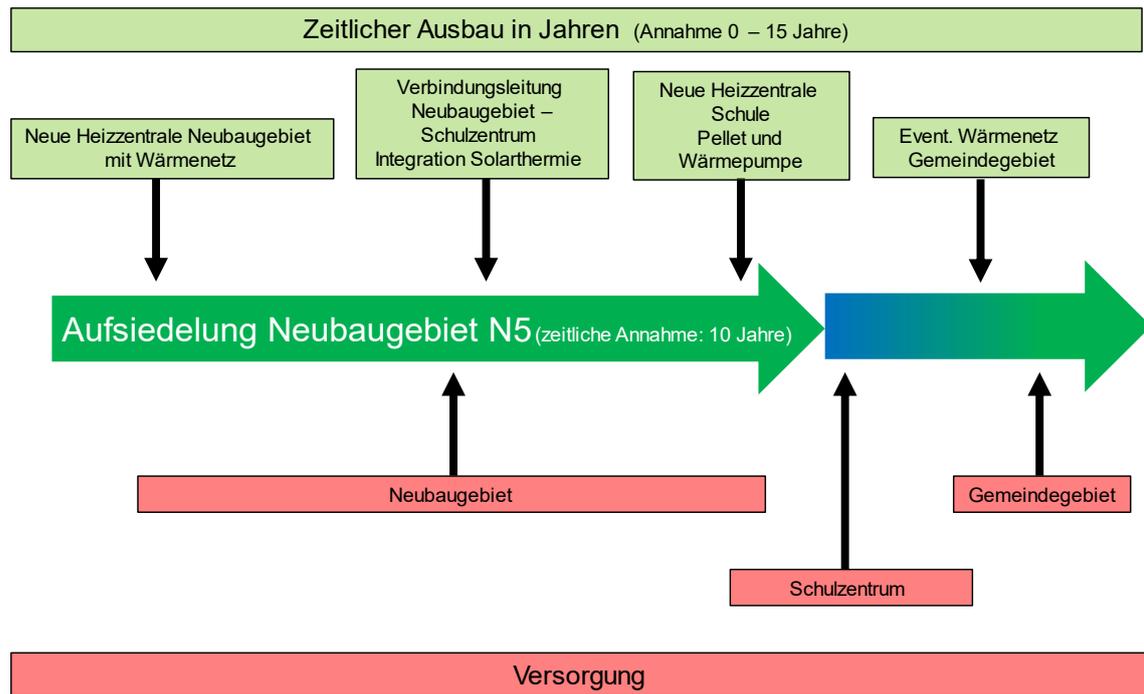


Abb. 22: möglicher zeitlicher Aufbau der Wärmeversorgung Teilritten

5 Energiebilanzen

5.1 Wärmeversorgung Neubaugebiet

Nachfolgende Grafik zeigt den monatlichen Wärmebedarf (inkl. Wärmenetz) des Neubaugebiets mit den Deckungsanteilen der Wärmeerzeuger im Vollausbau. Der Gaskessel dient zur Abdeckung möglicher Spitzenlasten und als Ausfallsicherung sowie zur Interimsversorgung während der Aufsiedelung.

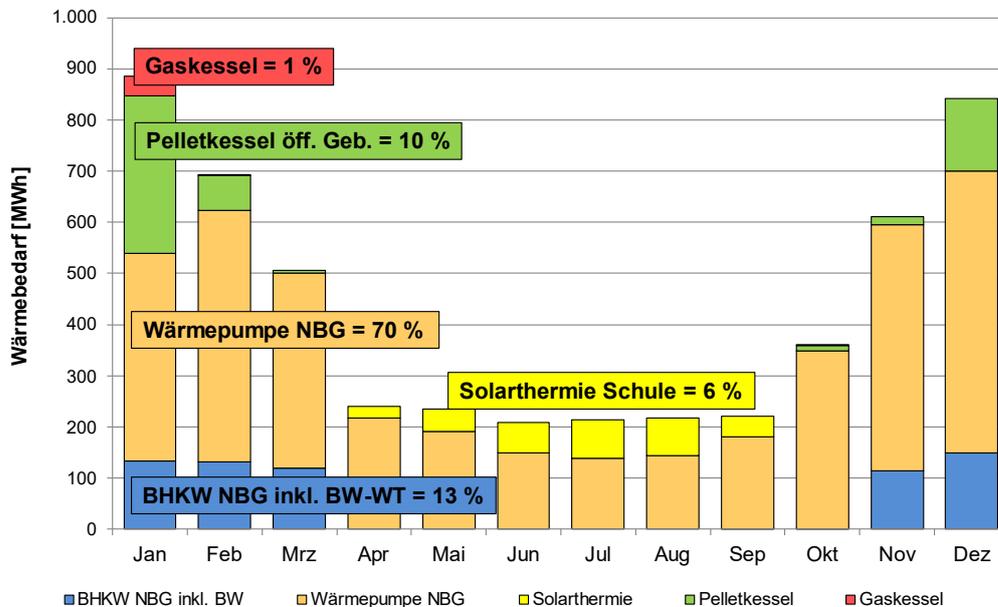


Abb. 23: monatl. Wärmebedarf und -erzeugung Wärmeversorgung Neubaugebiet

Beim Einsatz von Blockheizkraftwerken und Wärmepumpen als Wärmeerzeuger ergibt sich eine Kopplung der Wärmeerzeugung mit dem Stromsektor, da Blockheizkraftwerke Strom erzeugen und Wärmepumpen Strom als Antriebsenergie benötigen. In Zusammenhang mit der vorgesehenen Photovoltaikanlage ergibt sich folgende Strombilanz:

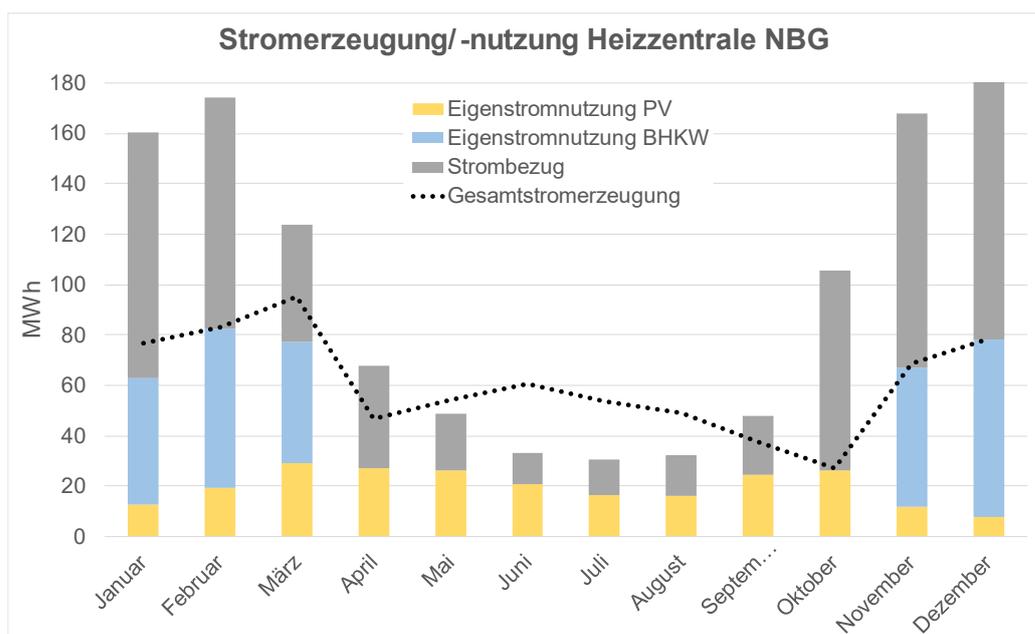


Abb. 24: monatl. Strombedarf und -erzeugung Heizzentrale Neubaugebiet

Abweichend von der dargestellten Bilanz kann es sich ökonomisch betrachtet, sinnvoller darstellen, bspw. den BHKW-Strom vollständig einzuspeisen und nur für die Photovoltaikanlage eine direkte Eigenstromnutzung umzusetzen. Trotz Stromüberschüssen (s. Sommer) kann aufgrund zeitlichen Versatzes zwischen Erzeugung und Bedarf meist keine komplette Versorgung aus Eigenstrom erreicht werden. Die folgende Grafik zeigt beispielhaft Simulationsergebnisse von Stromerzeugung und -bedarf aus jeweils einer Woche im Winter, im Frühling sowie im Sommer:

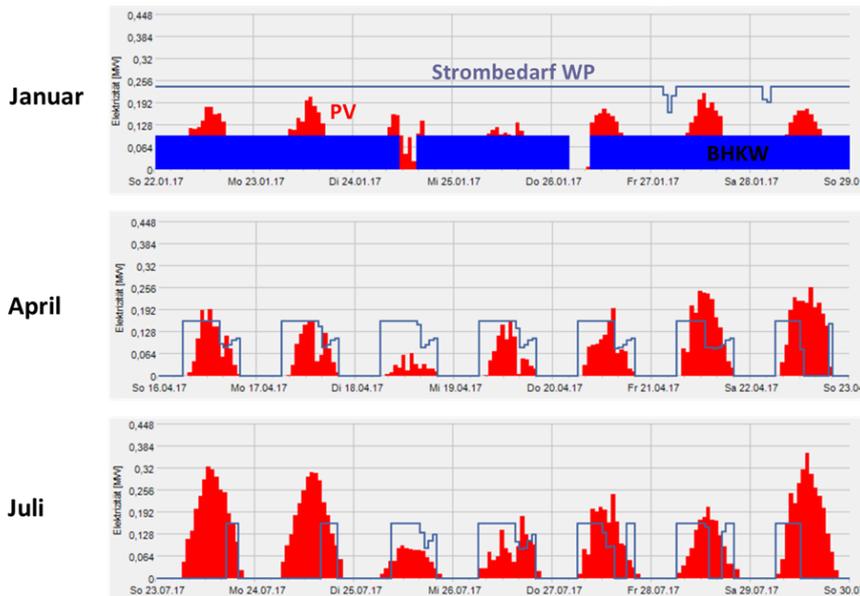


Abb. 25: Simulationsbeispiele Stromerzeugung/-bedarf für 3 exemplarische Wochen

Zukünftig kann ggf. ein strommarktorientierter Betrieb der vorhandenen Wärmeerzeuger wirtschaftlich genutzt werden.

5.2 Wärmeversorgung kommunale Gebäude

Nachfolgende Grafik zeigt die Versorgung der kommunalen Gebäude nach vollständigem Ausbau der neuen Heizzentralen.

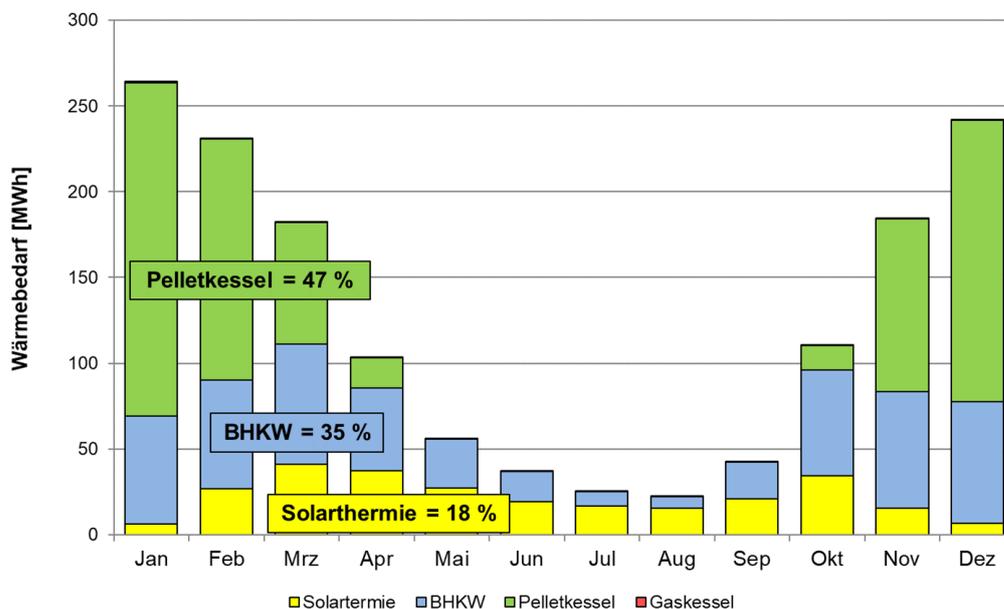


Abb. 26: monatl. Wärmebedarf und -erzeugung der kommunalen Gebäude

Werden die Blockheizkraftwerke und die Photovoltaikanlage in einem gemeinsamen Stromverbund der öffentlichen Gebäude zur Eigenstromnutzung herangezogen, kann ein großer Anteil des kommunalen Strombedarfs direkt aus diesen Anlagen gedeckt werden (s. folgende Abbildung).

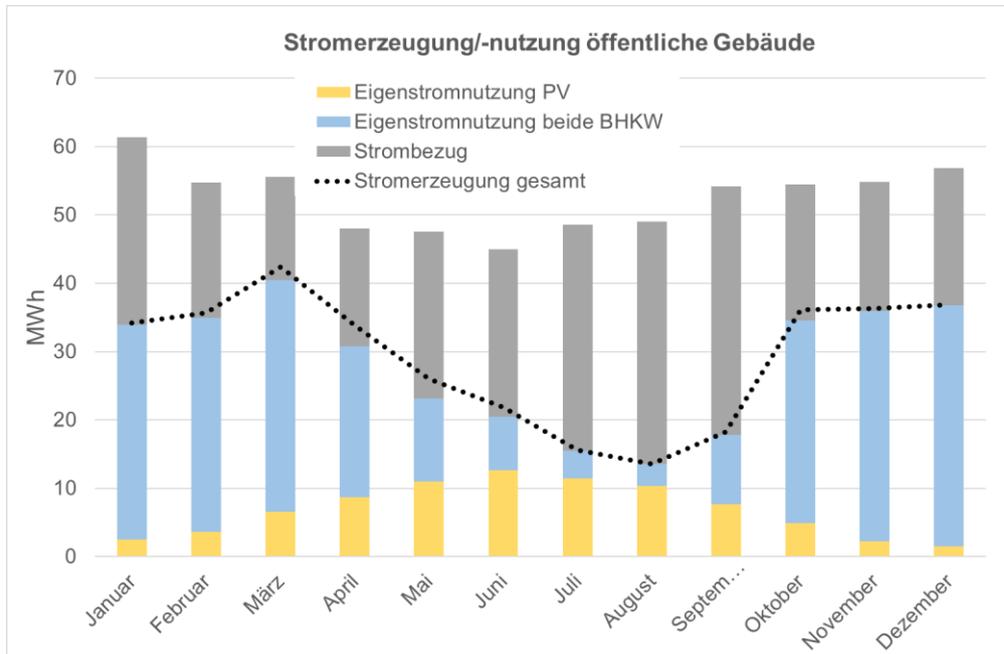


Abb. 27: monatl. Strombedarf und -erzeugung kommunalen Stromverbunds

5.3 Wärmeversorgung insgesamt (Neubaugebiet mit kommunalen Gebäuden)

Im Folgenden sind Wärmebedarf und Deckungsanteile der Erzeuger für das Gesamtgebiet (Neubaugebiet und kommunale Gebäude) dargestellt. Der Hauptanteil der Wärmeerzeugung wird im Neubaugebiet (rd. 5.230 MWh/a) benötigt (s. schwarz gestrichelte Linie in der Grafik). Die übrige Wärmeerzeugung mit rd. 1.500 MWh/a entfällt auf die kommunalen Gebäude.

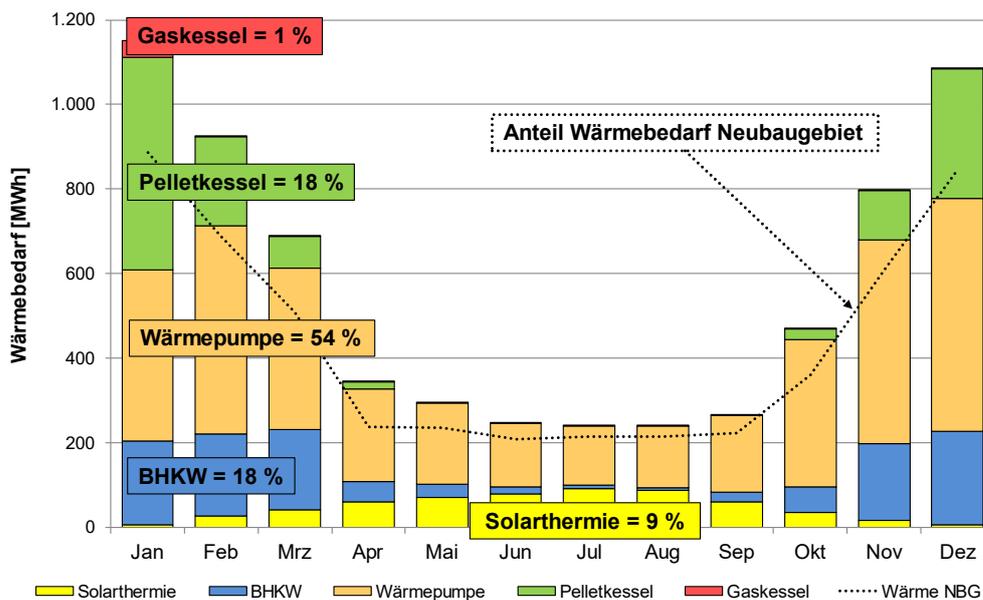


Abb. 28: monatl. Wärmebedarf und -erzeugung insgesamt (Neubaugebiet und kommunale Gebäude)

Die Pelletkessel (wie auch die Gaszusatzkessel) können über die meiste Zeit des Jahres weitere Wärmemengen bereitstellen. Der Aufbau einer Versorgung in Bestandsgebiete westlich der kommunalen Gebäude kann von der dortigen Heizzentrale aus begonnen werden. Je nach Wärmemenge in zusätzlichen Versorgungsgebieten müsste ggf. ein Zubau weiterer Erzeuger erfolgen.

6 Investitionskosten

Nachfolgend sind die Investitionskosten für Wärmeerzeugung und Wärmenetz zur Versorgung des Neubaugebiets dargestellt. Hierbei sind die Pelletheizungen der Heizzentrale bei den kommunalen Gebäuden enthalten, da diese für die Versorgung des Neubaugebiets benötigt werden. Allerdings können diese auch Wärme an die kommunalen Gebäude und darüber hinaus liefern.

Die Blockheizkraftwerke sowie die Photovoltaikanlage für die kommunalen Gebäude sind im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zum Neubaugebiet nicht berücksichtigt. Der Zubau dieser Anlagen muss sich wirtschaftlich über Stromvergütungen und den Nutzen aus der Eigenstromversorgung tragen. Die genannten Kosten verstehen sich **netto** zzgl. Mehrwertsteuer (**Stand 10/2021**).

Heizzentrale Neubaugebiet

Wärmepumpen	220.000,-- €
BHKW 100 kW _{el}	150.000,-- €
Gaskessel	85.000,-- €
Arbeiten Einbindungen Heizzentrale Neubaugebiet	765.000,-- €
Nebenkosten Wärmeerzeugung Neubaugebiet	244.000,-- €
Bauliches Heizzentrale Neubaugebiet	435.000,-- €
Nebenkosten Bauliches Heizzentrale Neubaugebiet	78.000,-- €
Photovoltaikanlage Neubaugebiet 500 kW_p	710.000,-- €
Nebenkosten Photovoltaik Neubaugebiet	142.000,-- €

Heizzentrale öffentliche Gebäude

Pelletkessel 2 x 450 kW (inkl. Pelletsilo)	300.000,-- €
Arbeiten Einbindungen Wärmeerzeuger	360.000,-- €
Nebenkosten Wärmeerzeugung HZ öffentliche Gebäude	132.000,-- €
Bauliches Heizzentrale öffentliche Gebäude	360.000,-- €
Nebenkosten Bauliches Heizzentrale öffentliche Gebäude	65.000,-- €

Wärmenetz Neubaugebiet + Verbindungsleitungen

Wärmenetz	4.075.000,-- €
Nebenkosten Wärmenetz	652.000,-- €
Übergabestationen	1.488.000,-- €
Nebenkosten Übergabestationen	312.000,-- €

Investitionskosten netto	10.573.000,-- €
rund:	10.570.000,-- €

6.1 Förderung

6.1.1 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)

Blockheizkraftwerke werden nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) gefördert. Die Förderung wird in Form der KWK-Zulage gewährt, die für jede erzeugte Kilowattstunde Strom bezahlt wird.

Über das KWKG lässt sich ebenfalls die Investition in den Wärmespeicher und in das Wärmenetz bezuschussen. Voraussetzung hierfür ist ein Anteil an KWK-Wärme und erneuerbarer Energie von zusammen mindestens 75 %. Wie die Energiebilanzen in Kapitel 5 zeigen, können die Voraussetzungen erfüllt werden.

Nachstehend sind die wichtigsten Randbedingungen der Förderung aufgeführt:

Betrifft:	Nahwärmenetze, Wärmespeicher
Antragsberechtigte:	Nahwärmenetzbetreiber
Art der Förderung:	Investitionskostenzuschuss.
Behörde:	Bundeswirtschaftsministerium
Abwicklung:	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
Bedingungen:	Das Nahwärmenetz muss im Ausbauzustand mindestens zu 75 % aus KWK-Wärme und erneuerbaren Energien versorgt werden (min. 10 % KWK-Wärme).
Förderhöhe:	40 % der Investitionssumme des Wärmenetzes 250 €/m³ bei Wärmespeichern bis 50 m ³ .
Sonstiges:	Antragstellung erst nach Inbetriebnahme möglich. Durch KWKG-Gesetz zugesicherter Förderbetrag wird nicht durch KfW-Darlehen vorfinanziert und ist daher anderweitig zwischen zu finanzieren.

Möglicher Förderbetrag für die Nahwärmeversorgung des Neubaugebiets
mögl. Förderung Wärmenetz 1.890.000 €

6.1.2 Geplante Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW)

Aktuell wird ein Förderprogramm des Bundes für effiziente Wärmenetze ausgearbeitet. Dieses soll die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern sowie die dazugehörigen Wärmenetze fördern.

Nach der im Entwurf vorliegenden Förderrichtlinie soll die **Förderhöhe 40 % der Investitionskosten** für erneuerbare Erzeugungsanlagen und Wärmenetze betragen. Übergabestationen werden ebenfalls gefördert.

Zusätzlich soll der Betrieb von Wärmepumpen und Solarthermieanlagen durch eine **Betriebsprämie pro kWh erzeugter Wärme** unterstützt werden.

Mögliche Förderbeträge für die Nahwärmeversorgung des Neubaugebiets

Förderung Wärmeerzeugung	800.000 €
Förderung Übergabestationen	720.000 €
Förderung Wärmenetz	1.890.000 €
Förderung gesamt	3.410.000 €

6.2 Erschließungskostenbeiträge bzw. Baukostenzuschüsse

Für alle Gebäude im Neubaugebiet fallen Erschließungskostenbeiträge und Baukostenzuschüsse für das Wärmenetz sowie die Übergabestationen an. Hierfür wurden folgende Beträge angesetzt:

Übergabestationen	netto	inkl. MwSt.	
EFH, DHH, RH	3.782 €	4.500 €	
MFH, Geschosswohnbau	8.403 €	10.000 €	
Sonderformen, Seniorenwohnen,...	10.084 €	12.000 €	
Erschließung Wärmenetz	netto	inkl. MwSt.	
EFH, DHH, RH	3.782 €	4.500 €	
MFH, Geschosswohnbau	16.807 €	20.000 €	
Sonderformen, Seniorenwohnen,...	20.168 €	24.000 €	
Gesamtkosten je Wärmeabnehmer		inkl. MwSt.	<i>Anzahl im Baugebiet</i>
EFH, DHH, RH		9.000 €	148
MFH, Geschosswohnbau		30.000 €	42
Sonderformen, Seniorenwohnen,...		36.000 €	5

Bei Anschluss aller Gebäude im Baugebiet ergeben sich Netto-Kostenbeiträge von:

Beiträge EFH, DHH, RH	1.119.000 € netto
Beiträge MFH, Geschosswohnbau	1.034.000 € netto
Beiträge Sonderformen, Seniorenwohnen	151.000 € netto
Erschließungskostenbeiträge insgesamt	2.304.000 € netto

6.3 Übersicht Investitionskosten

Nachfolgend sind die Investitionskosten sowie die möglichen Förder- und Erschließungskostenbeiträge in der Übersicht dargestellt (Stand 10/2021).

Investitionskosten Wärmeversorger (netto) jeweils inkl. Nebenkosten	Baugebiet N5 Luft-WP, BHKW, Pelletheizung €
Energieerzeugung HZ NBG	2.829.000,--
Wärmenetz	4.727.000,--
Übergabestationen	1.800.000,--
Energieerzeugung HZ kommunale Geb.	1.217.000,--
Investitionskosten (netto)	10.573.000,--
abzüglich mögliche Förderung	-3.410.000,--
abzüglich mögliche Erschließungskostenbeiträge	-2.304.000,--
verbleibende Investitionskosten (netto)	4.859.000,--

7 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 durchgeführt.

7.1 Grundlagen

Im Folgenden werden die Aufwendungen und Erlöse einer Nahwärmeversorgung berechnet. Dabei fließen ein:

- **Kapitalkosten für Wärmeerzeuger und Wärmenetz**
Aus Zinssatz und Nutzungszeit ergibt sich der sogenannte Annuitätsfaktor. Multipliziert man die Investitionskosten mit dem Annuitätsfaktor, erhält man die jährlichen Kapitalkosten, die sich aus Zinskosten und Darlehenstilgung zusammensetzen. Der hier angesetzte Zinssatz beträgt 1,0 %.
- **Betriebskosten**
Die Wartungs- und Instandhaltungskosten sind in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berücksichtigt. Weitere Betriebskosten sind die Stromkosten für Netzpumpen sowie Kosten für Verwaltung, Versicherung und Bedienung.
- **Brennstoffkosten**
Aus den Brennstoffverbräuchen des Blockheizkraftwerks und des Heizkessels ergeben sich die Brennstoffkosten.
- **Stromkosten**
Stromkosten entstehen für den Betrieb der Heizzentrale, insbesondere für die Wärmepumpe. Der erzeugte Fotovoltaik-Strom dient hier zur Eigenbedarfsdeckung.
- **Erlöse BEW-Förderung Betriebsprämie Wärmepumpe**
Für die Wärmeerzeugung aus Wärmepumpen soll nach der zukünftigen BEW-Förderung (s. Abschnitt 6.1.2) für 10 Jahre eine Betriebsprämie in Anspruch genommen werden können.
- **Stromerlöse**
Der BHKW-Strom sowie der überschüssige Photovoltaik-Strom werden in das öffentliche Netz eingespeist und erhalten eine Vergütung vom Netzbetreiber nach KWKG-Gesetz bzw. Erneuerbare-Energien-Gesetz (Photovoltaik).
- **Wärmeerlöse**
Für die verkaufte Wärme werden marktübliche Preise angesetzt. Diese bestehen aus einem Arbeitspreis für die verbrauchte Wärme und einem verbrauchsunabhängigen Grundpreis.

7.2 Energiepreise

Vor dem Hintergrund der Energiepreisentwicklungen der letzten Monate (Herbst 2021 - Frühjahr 2022) sowie der rasanten Baupreisentwicklungen erschweren sich Aussagen zur Wirtschaftlichkeit energiewirtschaftlicher Projekte enorm. Grundsätzlich können Wärmeerzeugungskonzepte, deren Erzeugung sich wie im vorliegenden Fall auf mehrere Standbeine verteilt, hier Vorteile aufweisen, da die Betriebsstrategie der einzelnen Erzeuger nach den aktuellen Marktgegebenheiten angepasst werden kann. Auf diese Weise kann eine hohe Preisstabilität der Wärme erreicht werden. Trotzdem dürfte für die Betreiber von

Wärmeversorgungsanlagen auch die vertragliche Gestaltung von Wärmepreis-
anpassungen an Bedeutung gewinnen. Letztendlich müssen Preissteigerungen, die nicht
über Betriebsstrategie oder durch vorteilhaften Energieeinkauf (bspw. langfristige
Verträge) abgefangen werden können, an die Wärmeabnehmer weitergegeben werden.

Den Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit **Stand 10/2021** liegen die folgenden Preis-
ansätze (**netto**) zugrunde:

Arbeitspreis Strombezug	4,00 ct/kWh
(→ Strompreis inkl. Umlagen, Netzentgelten, Steuern etc.: rd. 18,61 ct/kWh)	
üblicher Strompreis Börse EEX	3,62 ct/kWh (Vergütung BHKW-Strom)
Arbeitspreis Erdgas	2,50 ct/kWh H _s
(→ Erdgaspreis inkl. Netzentgelten, Steuern etc.: rd. 5,58 ct/kWh)	
Holzpellets	205 €/t
Wärmeabgabe von komm. Gebäuden	5,0 ct/kWh Wärme
(Verrechnung Wärmeabgabe aus Solarthermie und Brennwert-Wärmetauscher des BHKW an das Neubaugebiet)	
Wärmeabgabe an kommunale Gebäude	6,0 ct/kWh Wärme
(Verrechnung Wärmeabgabe aus der Pelletheizung an die kommunalen Gebäude)	

7.3 Wärmepreise

Für das Neubaugebiet wurden folgende Wärmepreise (**Stand 10/2021**) zugrunde gelegt:

	netto	inkl. MwSt.
Arbeitspreis	7,14 ct/kWh	8,5 ct/kWh
Grundpreis EFH/DHH/RH	504 €/a	600 €/a
Grundpreis MFH, Geschosswohnbau	2.941 €/a	3.500 €/a
Grundpreis Sonderformen, Seniorenw.	4.202 €/a	5.000 €/a

Wie bereits in Abschnitt 7.2 beschrieben, bedürfen die Wärmepreise voraussichtlich
Anpassungen an die momentane Entwicklung der Energiepreise. Auch die Ausgestaltung
von Wärmepreisanpassungen aufgrund von allgemeinen Energiepreissteigerungen dürfte
vor diesem Hintergrund an Bedeutung gewinnen.

7.4 Jahreskosten und Erlöse

Nachfolgend sind die Aufwendungen und Erlöse ohne Mehrwertsteuer dargestellt (**Stand 10/2021**). Der Bereich der Kapitalkosten findet sich in blau hinterlegt, betriebsgebundene Kosten und Erlöse sind orange hinterlegt.

Jahreskosten (netto)	Baugebiet N5 Luft-WP, BHKW, Pelletheizung
Zinssatz Kapitalisierung: 1 %	€/a
Kapitalkosten	452.000,--
abzgl. Förderung	-141.800,--
abzgl. Erschließungskostenbeiträge	-94.000,--
Stromkosten	201.200,--
Erlöse Stromeinspeisung	-61.800,--
Betriebsprämien Förderung (Wärmepumpe)	-227.300,--
Verrechnung Wärme öffentliche Gebäude (Solar-, Pelletwärme)	-26.600,--
Brennstoffkosten	115.800,--
Betriebskosten	149.300,--
Jahreskosten (netto)	367.000,--
Erlöse Wärmeverkauf (netto)	560.000,--
Überschuss (netto)	193.000,--

Aus der Tabelle wird deutlich, dass ein kostendeckender und von Betreiberseite wirtschaftlicher Betrieb der Nahwärmeversorgung möglich ist. In den ersten 10 Jahren werden durch die BEW-Betriebsprämie (Abschätzung nach vorläufigem Kenntnisstand Mitte 2021) der Wärmepumpe deutliche Überschüsse erreicht. Es wird hierbei deutlich, dass die BEW-Förderung, insbesondere in Form der Betriebsprämie unter den aktuellen Rahmenbedingungen Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb des dargestellten Erzeugungskonzepts ist.

Nach Wegfall dieser Prämie nach 10 Jahren entfällt der deutliche Erlös-Überschuss. Zu diesem Zeitpunkt muss ggf. die Betriebsstrategie der Wärmeerzeuger angepasst werden. Vor dem Hintergrund der dringenden Bestrebungen um vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien in der Wärmeversorgung und der begrenzten Verfügbarkeit der durch ihre Lagerfähigkeit wertvollen Ressource Holz (Holzpellets), dürfte das Erzeugungskonzept jedoch auch weiterhin gut für die zukünftige Wärmeversorgung aufgestellt sein. Die dargestellten Berechnungen beziehen sich auf den Endausbau der Wärmeversorgung des Neubaugebiets. Ggf. wirtschaftlich ungünstigere Zwischenstände, wie sie sich aus der schrittweisen Aufsiedelung des Gebiets ergeben, sind hier nicht berücksichtigt.

7.5 Heizkostenvergleich aus Abnehmersicht

Nachfolgend wird ein Vergleich zwischen einer Einzellösung (Wärmepumpe) und einem Nahwärmeanschluss sowohl für ein Einfamilienhaus (EFH) als auch für ein Mehrfamilienhaus (MFH) im Neubaugebiet dargestellt.

Die aufgeführten Kosten verstehen sich inkl. Mehrwertsteuer.

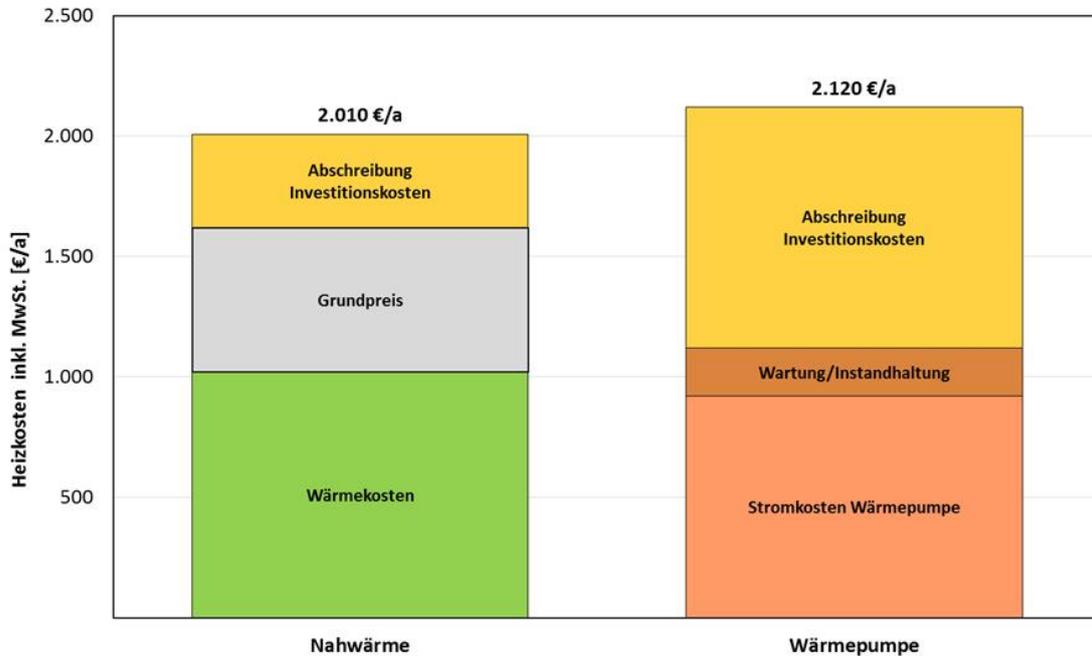


Abb. 29: Vergleich Jahreskosten Heizung für ein EFH mit 12.000 kWh/a Wärmeverbrauch

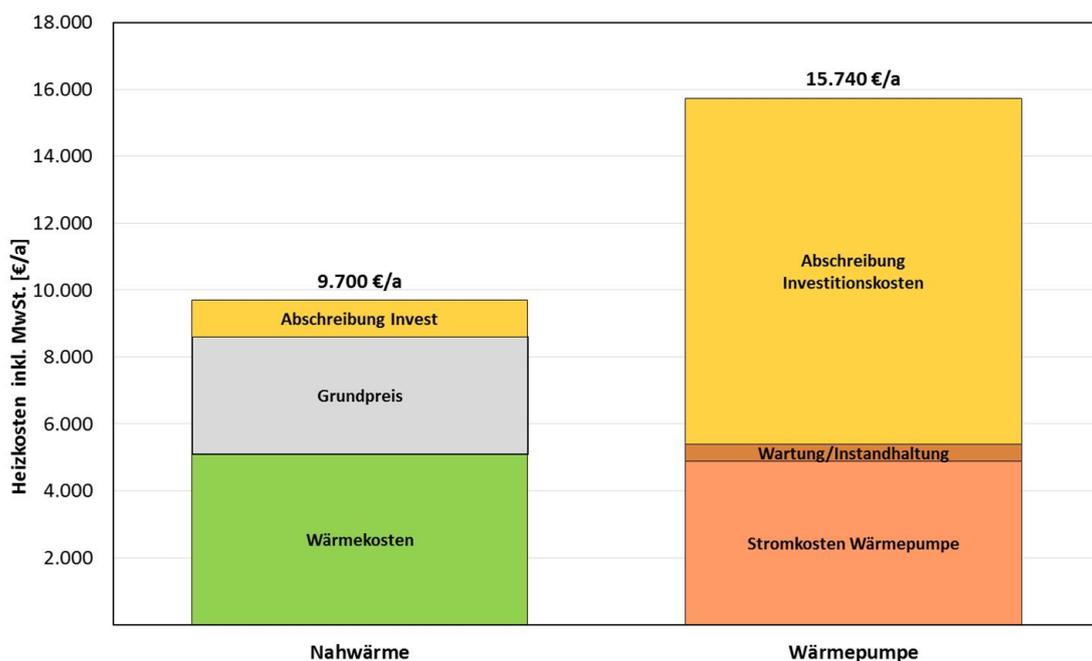


Abb. 30: Vergleich Jahreskosten Heizung für ein MFH mit 60.000 kWh/a Wärmeverbrauch

8 Umweltbilanz

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen wurden die Emissionsfaktoren nach GEG verwendet (siehe Tabelle 1).

Strom (Bezug)	0,56 kg/kWh
Eigenstromnutzung aus PV	0,00 kg/kWh
Strom (Verdrängungsmix)	0,86 kg/kWh
Erdgas	0,24 kg/kWh
Pellet	0,02 kg/kWh

Tabelle 1: CO₂-Emissionsfaktoren nach GEG (und PV-Eigenstrom = 0)

Der erzeugte Strom der BHKW- und Fotovoltaik-Module wird mit dem sogenannten Verdrängungsmixfaktor bewertet, da hierdurch Stromerzeugung in fossilen Kraftwerken verdrängt wird.

Der Stromverbrauch von Wärmepumpe und Heizzentrale wird mit dem Faktor des Strommix des bundesdeutschen Kraftwerksparks (inklusive erneuerbare Energien) eingerechnet.

Hieraus ergeben sich für das Neubaugebiet CO₂-Emissionen von rund 121 g/kWh Wärmeabgabe beim Kunden. Der größte Anteil hiervon ergibt sich aus dem Strombezug der Wärmepumpe. Eine Reduktion der CO₂-Emissionen des Strommix, führt ohne Änderung der Erzeugungstechnik zu einem niedrigeren Wert der CO₂-Emissionen aus der Wärmeerzeugung.

Der Primärenergiefaktor der Wärmeversorgung errechnet sich zu rd. 0,48. Der Anteil erneuerbarer Energien (EE-Anteil) nach den Vorgaben des BEG liegt bei rund 76 %. Auch diese beiden Werte verbessern sich, wenn bessere Werte für den Strommix erreicht werden.

9 Fazit

Unter Voraussetzung der zukünftigen BEW-Förderung (noch nicht in Kraft), lässt sich eine für Betreiber und Wärmeabnehmer wirtschaftlich und ökologische Nahwärmeversorgung im Neubaugebiet umsetzen. Auch für die kommunalen Gebäude und einen möglichen weiteren Ausbau der Nahwärme in Richtung der bestehenden Bebauung Eggenstein-Leopoldshafens ergeben sich aus dem Gesamtkonzept Vorteile. Verschiedene Wärmeerzeuger im System tragen zu größtmöglicher Preisstabilität einer langfristig umweltfreundlichen und nachhaltigen Wärmeerzeugung bei.