

Stadt Weinstadt
Nahwärmeversorgung Schnait

Nahwärmeversorgung für kommunale und private Gebäude

Bietigheim-Bissingen, Juni 2021

Stadt Weinstadt
Nahwärmeversorgung Schnait

Auftraggeber: Stadtwerke Weinstadt

Projektnummer: 20056

Dokument: Gutachten_Weinstadt_Schnait_V1

Bietigheim-Bissingen, 16.06.2021



Dipl.-Ing. Wolfgang Schuler



i. A. Dipl.-Ing. (FH) Christoph Hansen



i. A. Dipl.-Ing. (FH) Steffen Bühler

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
1.1	Einführung	5
1.2	Ergebnisse.....	6
2	Grundlagen	7
2.1	Untersuchungsgebiet	8
2.2	Heiztechnik	10
2.3	Energieverbrauch	12
3	Konzeption Nahwärmeversorgung	14
4	Potenziale der Nahwärmeversorgung.....	16
5	Neubaugebiet Furchgasse	18
6	Wärmenetz	20
6.1	Mögliche Leitungsführung	20
6.2	Netzdaten	21
7	Energiebilanz.....	22
7.1	Variante 1: 1 BHKW kleines Gebiet	22
7.2	Variante 2: 2 BHKW großes Gebiet	23
7.3	Variante 3: Wärmepumpen großes Gebiet	24
8	Technische Realisierung.....	26
8.1	Heizzentrale.....	26
8.2	Wärmenetz.....	29
9	Förderung	30
10	Investitionskosten.....	32
11	Wirtschaftlichkeit	36
11.1	Grundlagen.....	36
11.2	Energiepreise	37
12	Jahreskosten	38
13	Umweltbilanz	39
13.1	Energiebilanz.....	39
13.2	Emissionsbilanz Treibhausgase.....	39
14	Anhang	42
14.1	Blockheizkraftwerke	42
14.2	Wärmepumpen.....	46
14.3	Nahwärmeversorgung	47
15	Berechnungen	51
15.1	Investitionskosten	51
15.2	Förderung.....	54

15.3	Kapitalkosten	55
15.4	Betriebskosten.....	58
15.5	Brennstoffkosten	59
15.6	Stromerlöse	60

1 Zusammenfassung

1.1 Einführung

Über das KfW-Programm „Energetische Stadtsanierung“ soll für ein Teilgebiet des Stadtteils Schnait der Stadt Weinstadt in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro ebök ein sogenanntes „integriertes Quartierskonzept“ erstellt werden.

Hierfür untersucht die IBS Ingenieurgesellschaft im vorliegenden Gutachten die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung mit zentraler Wärmeerzeugung.

Die Gebäude im Untersuchungsgebiet wurden größtenteils vor 1948 gebaut. Die meisten anderen Gebäude wurden in der Zeit von 1949 bis 1994 errichtet. Die Gebäudegröße reicht von Einfamilienhäusern bis zu mehrgeschossigen Mehrfamilienhäusern. Die Beheizung der Gebäude erfolgt mittels Heizöl-, Erdgas- und Stromheizungen. Es befinden sich verschiedene kommunale Gebäude in dem Untersuchungsgebiet. Diese sind die Grundschule Schnait, der städtische Kindergarten Beethovenstraße und die Schnaiter Halle.

Nachfolgendes Luftbild zeigt einen Überblick über das Untersuchungsgebiet.

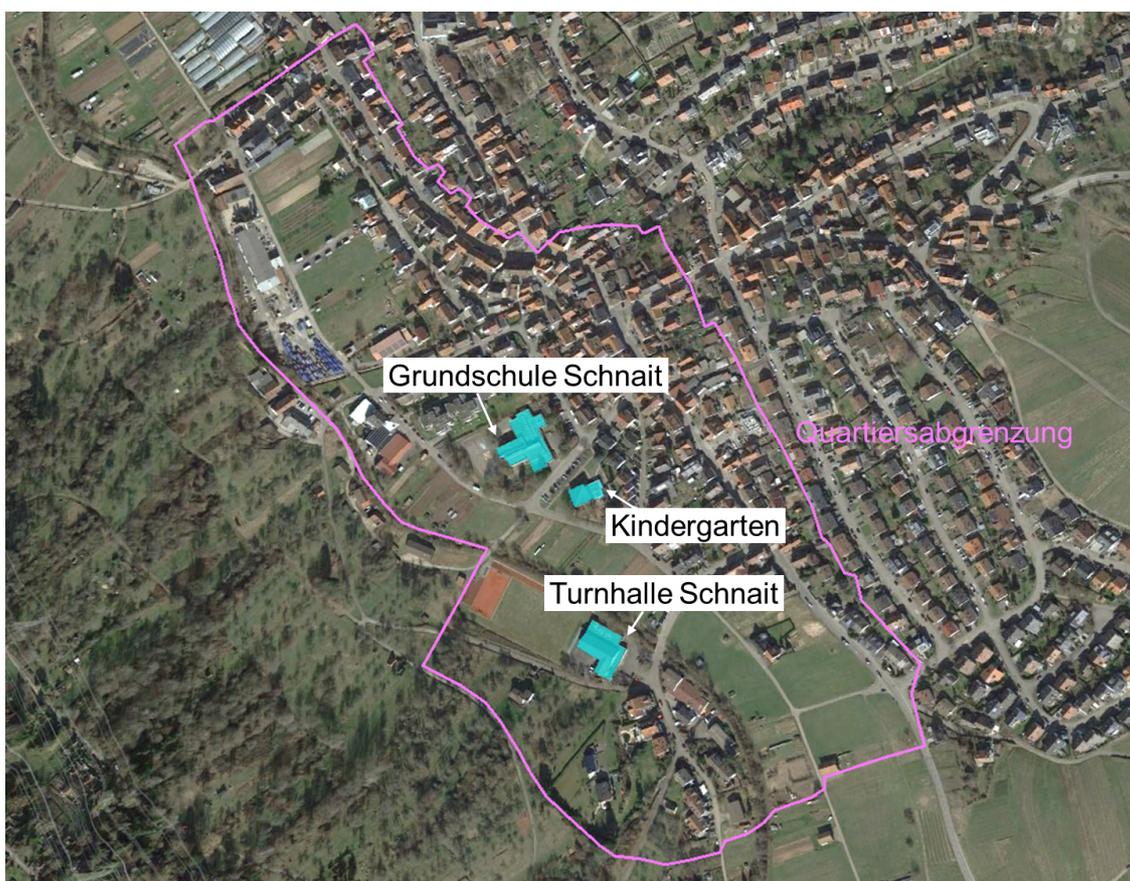


Abb. 1: Luftbild Untersuchungsgebiet (Quelle: Google Earth)

1.2 Ergebnisse

In der vorliegenden Konzeptstudie wird die Nahwärmeversorgung zweier Teilgebiete im Stadtteil Schnait in Weinstadt bezüglich Technik, Wirtschaftlichkeit und Umweltbilanz betrachtet.

Die wesentlichen Ergebnisse sind:

- Für das kleine Gebiet wurde eine Wärmeversorgung mittels einem Blockheizkraftwerk mit 50 kW el. Leistung und 100 kW Wärmeleistung untersucht (Variante 1). Wird das Gebiet um die Turnhalle Schnait erweitert (großes Gebiet), werden entweder 2 Blockheizkraftwerke mit je 50 kW el. Leistung (Variante 2) oder 2 Luft-Wasser-Wärmepumpen mit jeweils rund 100 kW Heizleistung eingesetzt (Variante 3). Bei den Blockheizkraftwerksvarianten wird zusätzlich ein Gasbrennwertkessel als Zusatzkessel installiert, bei der Wärmepumpenvariante wird der bestehende Heizölkessel weiter betrieben. Die Wärmeerzeugung bei allen untersuchten Varianten erfolgt aus dem bestehenden Heizraum der Grundschule.
- Das Wärmenetz für das kleine Netz hat inkl. Hausanschlüssen eine Leitungslänge von rund 240 m. Hier werden die Grundschule und 2 Wohnungseigentümergeinschaften versorgt.
Das Wärmenetz für das große Netz hat inkl. Hausanschlüssen eine Leitungslänge von rund 560 m. Hier werden zusätzlich zum kleinen Netz noch die Schnaiter Turnhalle versorgt.
- Die Investitionskosten der Variante 1 (BHKW, kleines Gebiet) betragen 611.000,-- € zzgl. MwSt. Bei den Varianten 2 und 3 belaufen sich die Investitionskosten auf 1.007.000,-- bzw. 824.000,-- €. Nach Abzug der möglichen Förderungen belaufen sich die Investitionskosten auf 526.000,-- € (Variante 1), 833.000,-- € (Variante 2) und 494.000,-- € (Variante 3). Die Wärmegestehungspreise belaufen sich auf 12,2 ct/kWh bei Variante 1 und auf 11,9 ct/kWh bei den Varianten 2 und 3.
- Durch die Versorgung des kleinen Gebietes mittels Blockheizkraftwerk (Variante 1) können im Vergleich zu den Bestandsheizanlagen rund 164 Tonnen CO₂-Äquivalent eingespart werden. Dies entspricht einer Einsparung von 93 % gegenüber den Bestandsanlagen.
Die Einsparung bei Variante 2, wo 2 Blockheizkraftwerke für das große Gebiet eingesetzt werden, beträgt 240 Tonnen CO₂-Äquivalent. Dies entspricht einer Einsparung von 107 %, welche durch die hohe Stromerzeugung und der damit verbundenen Stromgutschrift verbunden ist. Da in der Regel keine negativen Einsparungen zertifiziert werden, würde die Einsparung 100 % bzw. 224 Tonne pro Jahr betragen.
Die Einsparung bei Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpen (Variante 3) beträgt 33 Tonnen CO₂-Äquivalent, was 15 % Einsparung gegenüber dem Gebäudebestand entspricht. Da die erreichbare Jahresarbeitszahl aufgrund der hohen Netztemperaturen nur gering ist, macht sich der hohe, schlecht bewertete Stromeinsatz bemerkbar.
- Die betrachteten Nahwärmevarianten könnten für den Stadtteil Schnait als Keimzelle für ein zukünftiges, größeres Wärmenetz dienen. Das Wärmepotenzial im gesamten Untersuchungsgebiet beläuft sich inklusive der betrachteten Gebäude auf rund 4.465.000 kWh/a.

2 Grundlagen

Für eine Nahwärmeversorgung soll in Ausbausritten die benötigte Wärme mittels Blockheizkraftwerk(en) und Zusatzkessel mit Brennstoff Erdgas bereitgestellt werden. Alternativ soll eine Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpen und gesenkten Netztemperaturen zum Einsatz kommen. Bei der Betrachtung des kleinen Gebietes werden die Schule und zwei angrenzende WEG versorgt, beim großen Gebiet wird zusätzlich noch die Turnhalle einbezogen.

Es werden folgende Varianten betrachtet:

Variante 1: 1 BHKW kleines Gebiet

- Bau eines Nahwärmenetzes (kleines Gebiet)
- Nutzung Heizraum Grundschule als Heizzentrale
- Energieversorgung mittels 1 BHKW mit jeweils 50 kW elektrischer und 100 kW thermischer Leistung und Gaszusatzkessel

Variante 2: 2 BHKW großes Gebiet

- Bau eines Nahwärmenetzes (großes Gebiet)
- Nutzung Heizraum Grundschule als Heizzentrale
- Energieversorgung mittels 2 BHKW mit 50 kW elektrischer und 100 kW thermischer Leistung und Gaszusatzkessel

Variante 3: Wärmepumpen großes Gebiet

- Bau eines Nahwärmenetzes (großes Gebiet)
- Nutzung Heizraum Grundschule als Heizzentrale
- Energieversorgung mittels 2 Wärmepumpen mit 100 kW thermischer Leistung und vorhandenem Heizkessel

Die Untersuchung umfasst:

- **Konzeption und Energiebilanz**
Auslegung und Dimensionierung der Anlagen und Ermittlung der daraus resultierenden Wärme- und Brennstoffbilanzen.
- **Technische Realisierung**
Darstellung der grundsätzlichen, technischen Umsetzung.
- **Investitionskostenermittlung**
- **Wirtschaftlichkeit**
Berechnung der Kapital-, Betriebs-, Brennstoff- und Jahresheizkosten sowie des Wärmegestehungspreises.
- **Emissionsbilanz**
Berechnung der CO₂-Emissionen.

2.1 Untersuchungsgebiet

Zentral im Untersuchungsgebiet liegt die Grundschule Schnait. Gegenüber befindet sich der städtische Kindergarten Beethovenstraße. Rund 200 m südöstlich der Grundschule befindet sich die Turnhalle Schnait. Ansonsten ist das Gebiet überwiegend mit Ein- und Zweifamilienhäusern bebaut, vereinzelte Mehrfamilienhäuser und Gewerbebetriebe sind vorhanden.



Abb. 2: Übersicht Untersuchungsgebiet und städtische Einrichtungen
(Quelle: Google Earth)

Für eine genauere Betrachtung für eine mögliche Nahwärmeversorgung wurde das Untersuchungsgebiet in einzelne Gebiete unterteilt. Hierbei wurden für erste Ausbauschritte die Gebiete „kleines Gebiet“ und „großes Gebiet“ festgelegt. Das restliche Untersuchungsgebiet wurde in Potenzialgebiete unterteilt.

Kleines Gebiet

Grundschule
WEG Wiesentalstraße
WEG Mozartstraße

Großes Gebiet

Grundschule
WEG Wiesentalstraße
WEG Mozartstraße
Turnhalle



Abb. 3: Übersicht Untersuchungsgebiet mit Unterteilung (Quelle Google Earth)

2.2 Heiztechnik

Grundschule Schnait

Wärmeerzeuger	Niedertemperaturkessel
Brennstoff	Heizöl
Wärmeleistung	195 kW
Baujahr	2005



Abb. 4: Heizkessel Grundschule Schnait

Turnhalle Schnait

Wärmeerzeuger

2 Niedertemperaturkessel

1 direkt befeuerte Lüftungsanlage

Brennstoff

Erdgas

Wärmeleistung

Heizkessel 85 kW/120 kW

Lüftung 100 kW

Baujahr

1985



Abb. 5: Heizkessel Gasthaus



Abb. 6: Heizkessel Turnhalle



Abb. 7: direktbefeuerte Lüftungsanlage

2.3 Energieverbrauch

Nachgehend werden die Energieverbräuche der möglichen Wärmekunden für die Nahwärmeversorgungsvarianten dargestellt. Bei den kommunalen Gebäuden lagen Verbräuche vor, bei den WEG wurden die Erhebungsdaten von Smart Geomatics als Grundlage genommen.

Kommunale Liegenschaften

Grundschule

mittlerer Heizölverbrauch	rund 25.200 Liter/a
mittlerer Wärmeverbrauch	rund 200.000 kWh/a
mittlerer Stromverbrauch	17.700 kWh/a

Turnhalle

mittlerer Erdgasverbrauch	216.000 kWh/a
mittlerer Wärmeverbrauch	155.000 kWh/a
mittlerer Stromverbrauch	18.300 kWh/a

Umliegende Wohnungseigentümergeinschaften

Wohnungseigentümergeinschaft Wiesentalstraße 59 - 63

Erdgasverbrauch	rund 380.000 kWh/a
mittlerer Wärmeverbrauch	295.000 kWh/a

Wohnungseigentümergeinschaft Mozartstraße 11 - 15

Erdgasverbrauch	rund 71.000 kWh/a
mittlerer Wärmeverbrauch	55.000 kWh/a

Wärmemenge kleines Netz **550.000 kWh/a**

Wärmemenge großes Netz **705.000 kWh/a**

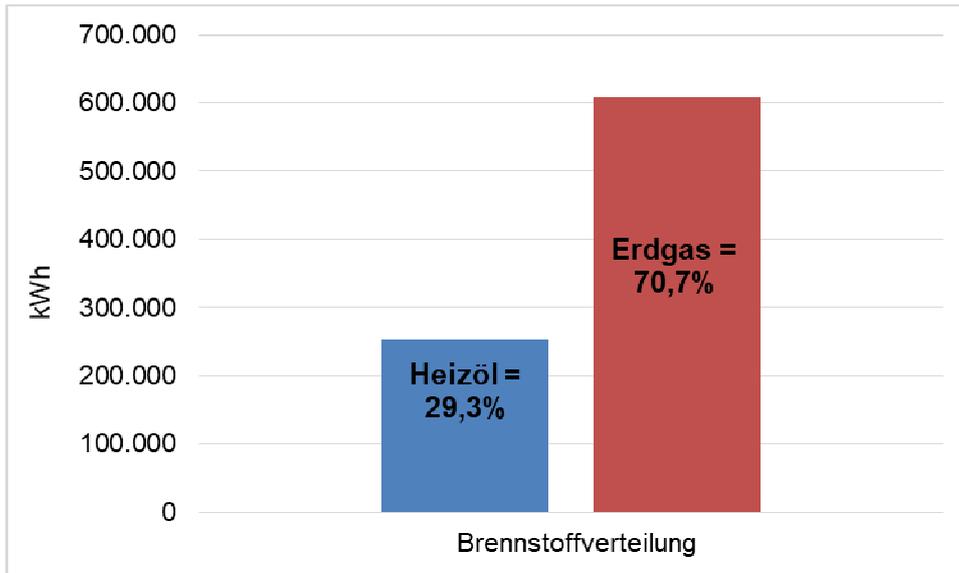


Abb. 8: Verteilung der eingesetzten Energieträger im Untersuchungsgebiet (großes Gebiet)

Die möglichen Anschlussnehmer beheizen ihre Gebäude rein fossil. Dabei werden rund 30 % Heizöl und rund 70 % Erdgas eingesetzt.

3 Konzeption Nahwärmeversorgung

Wärmeversorgung Grundschule und umliegende Gebäude

Für die Nahwärmeversorgung wurden im Quartier 3 Varianten mit 2 Ausbaustufen untersucht. Die Ausbaustufen wurden als kleines Netz und großes Netz bezeichnet. Das kleine Netz umfasst die Grundschule Schnait sowie die beiden WEG Wiesentalstraße 59 - 63 und Mozartstraße 11 - 15. Beim großen Netz wird zusätzlich die Schnaiter Turnhalle angeschlossen.

Für das kleine Netz wurde eine Wärmeversorgung mittels Blockheizkraftwerk untersucht (Variante 1). Ein BHKW mit 50 kW el. Leistung und 100 kW Wärmeleistung wird in den bestehenden Heizraum der Grundschule eingebaut. Der Bestandsheizkessel wird durch Erdgasbrennwertkessel ersetzt. Ein Wärmespeicher wird zur Betriebsoptimierung und Erhöhung der Deckungsanteile eingebunden.

Bei Variante 2 wird das Wärmenetz bis zur Schnaiter Turnhalle erweitert. Durch den zusätzlichen Wärmeverbrauch reicht 1 BHKW nicht mehr aus, um die für die Förderung des Wärmenetzes nötigen Deckungsanteil zu erreichen. Es werden zwei Blockheizkraftwerke mit jeweils 50 kW elektrischer und 100 kW thermischer Leistung eingesetzt. Der Einbau der Aggregate erfolgt im Abstand von 12 Monaten. Dies bewirkt, dass die BHKW nicht als gemeinsame Anlage gelten und somit eine höhere KWKG-Vergütung erhalten. Die Aufstellung der BHKW-Module erfolgt wiederum im Heizraum der Grundschule. Der Bestandskessel wird durch Erdgasbrennwertkessel ersetzt. Auch hier wird ein Wärmespeicher in das System integriert.

Alternativ zu Variante 2 wird in Variante 3 die Wärmeversorgung des großen Gebiets mittels Wärmepumpen bereitgestellt. Hierzu werden 2 Luft-Wasser-Wärmepumpen mit 100 kW Heizleistung als Kompaktmodule auf dem Dach der Schnaiter Grundschule aufgestellt. Der bestehende Heizkessel in der Grundschule bleibt erhalten und wird weiter betrieben. Die Erhöhung der Kesselleistung bei Vollausbau ist möglich. Ein Wärmespeicher wird in das System integriert. Um den Deckungsanteil der Wärmepumpen zu maximieren, soll die Vorlauftemperatur im Wärmenetz bei dieser Variante 70 °C nicht überschreiten.

Die Heizungstechnik wird bei allem Varianten in den bestehenden Heizraum der Grundschule eingebaut.

Es werden folgende Wärmeerzeugungsanlagen eingesetzt:

Variante 1

Blockheizkraftwerk	1 x 50 kW el. Leistung/100 kW Wärmeleistung
Erdgasbrennwertkessel	rund 300 - 400 kW

Variante 2

Blockheizkraftwerke	2 x 50 kW el. Leistung/100 kW Wärmeleistung
Erdgasbrennwertkessel	rund 300 - 400 kW

Variante 3

Luft-Wasser-Wärmepumpen	2 x 100 kW Wärmeleistung
Heizölkessel Bestand	195 kW

4 Potenziale der Nahwärmeversorgung

Für eine konkrete Realisierung wurde in diesem Konzept die Versorgung des kleinen und großen Gebietes untersucht, welche als Keimzelle für eine spätere, größere Nahwärmeversorgung dienen können. Darüber hinaus gibt es im Untersuchungsgebiet weitere Potenziale für eine Nahwärmeversorgung. Dies ist in folgender Grafik dargestellt.



Abb. 9: Potenzialgebiete und Nahwärmeversorgungsgebiete klein/groß
(Quelle: Google Earth)

Die Potenziale des Untersuchungsgebiets ohne die beiden untersuchten Versorgungsgebiete sind in folgender Tabelle dargestellt.

Potenzialgebiet	Endenergie <i>kWh/a</i>	JNG	Wärmeverbrauch <i>kWh/a</i>	Potenzialabschätzung	Potenzial <i>kWh/a</i>
1	3.960.376	80 %	3.168.301	70 %	2.217.811
2	2.082.460	80 %	1.665.968	70 %	1.166.178
3	682.953	80 %	546.362	70 %	382.454
					3.766.442

Generell wird versucht, in den mit Nahwärme erschlossenen Gebieten eine 100 %ige Versorgung zu erreichen. Da dies teilweise nur über lange Zeiträume umsetzbar ist, in welchen Modernisierungsmaßnahmen an Gebäuden durchgeführt werden, und ein Teil der Gebäude nicht ans Netz angeschlossen werden kann, wird für die Ermittlung des Nahwärmepotenzials der Faktor 0,7 für den aktuellen Wärmeverbrauch im Gebiet angesetzt.

Das Potenzial im Untersuchungsgebiet beläuft sich zusätzlich zu den untersuchten Gebieten auf rund 3.760.000 kWh Wärme pro Jahr. Dies entspricht rund 150 Gebäuden.

Zusammen mit den untersuchten Gebieten läge das Gesamtpotenzial bei rund 4.465.000 kWh/a.

Für die Versorgung des Gesamtgebietes müsste eine weitere Heizzentrale errichtet werden. Hierbei würde sich zum Beispiel der Bau einer Holzheizung anbieten, welche im Bereich des Sportplatzes gebaut werden könnte.

5 Neubaugelbiet Furchgasse

Im südöstlichen Bereich des Untersuchungsgebiets ist ein Neubaugelbiet geplant. Es wurde geprüft, ob eine Nahwärmeversorgung auf Basis von Kraft-Wärme-Kopplung für dieses Gebiet sinnvoll und wirtschaftlich umsetzbar ist.



Abb. 10: Bebauungsplan Neubaugelbiet Furchgasse (Quelle: Stadt Weinstadt)

Obwohl grundsätzlich Lösungen mit einer Nahwärmeversorgung anzustreben sind, gibt es verschiedene Punkte, die beim Neubaugelbiet Furchgasse dagegen sprechen.

Wärmeabsatz im Neubaugelbiet

In den vorläufigen Betrachtungen ist man von einem Wärmeverbrauch von mindestens 500.000 kWh/a ausgegangen. Nach dem neuesten städtebaulichen Entwurf berechnet das Büro roosplan eine Wohnfläche von rund 6.445 m². Bei einem mittleren Wärmeverbrauch von 45 kWh/m²*a ergibt sich folgender Wärmeverbrauch:

$$6.445 \text{ m}^2 \quad \times \quad 45 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a} \quad = \quad 290.025 \text{ kWh/a.}$$

Da sich die Investitionen für Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung nicht verringern, ist eine für beide Seiten zufriedenstellende und wirtschaftliche Lösung nur schwer zu erreichen. Die durch den fehlenden Wärmeverkauf verringerten Einnahmen müssten über höhere Kosten bei den Wärmekunden ausgeglichen werden. Ein wirtschaftlicher Vorteil gegenüber hausinternen Wärmeversorgungs-lösungen ist damit nicht gegeben.

Ein guter Indikator für die Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen ist die sogenannte Wärmebelegungsichte. Dieser Wert gibt wieder, welche Wärmemenge pro Meter Wärmenetz abgegeben wird. Bei Förderprogrammen der KfW werden Projekte mit Wärmebelegungsichten unter 500 kWh/m*a nicht gefördert. Für den wirtschaftlichen Betrieb von Wärmenetzen sind im Bestand zumeist Werte größer 1.000 kWh/m*a notwendig. In Neubaugebieten fallen diese Werte aufgrund der neuen, verbesserten Baustandards generell geringer aus. Im Baugebiet Furchgasse ergibt sich bei einem Wärmeverbrauch von 290.000 kWh/a und einer Netzlänge für Hauptleitung und Hausanschlüsse von 800 m nur eine Wärmebelegungsichte von rund 360 kWh/m*a.

Wärmeverluste

Selbst mit den aktuell bestgedämmten Wärmeleitungen liegen die Netzverluste für die Versorgung des Neubaugebiets bei rund 75.000 kWh/a. Dies entspricht Netzverluste in Höhe von 26 % bezogen auf den Wärmeabsatz. Auch aus ökologischer Sicht und im Vergleich zu gebäudeinternen Einzellösungen ist dies ein hoher Wert.

Bauliche Erschwernisse

Im Bereich der Hölderlinstraße sind ein Regenwasserkanal (DN 1000) sowie ein Schmutzwasserkanal (DN 600) verlegt. Der Regenwasserkanal wurde mit nur 30 cm Überdeckung verlegt. Da die Wärmeleitungen mit einer Mindestüberdeckung von 60 bis 80 cm verlegt werden müssen, ergibt sich in diesem Bereich ein erheblicher Mehraufwand beim Rohrleitungsbau. Die Abzweigungen/Straßenabgänge müssen unter die Kanäle geführt werden, was zu höheren Kosten führt.

6 Wärmenetz

Das Wärmenetz für die untersuchten Varianten unterscheidet sich in ein „kleines“ und ein „großes“ Gebiet. Das kleine Gebiet umfasst die Grundschule und die beiden angrenzenden WEG Wiesentalstraße und Mozartstraße. Bei dem großen Gebiet kommt noch die Schnaiter Halle dazu. Abhängig vom Interesse der Schnaiter Bürger kann die Nahwärmeversorgung und damit der Netzausbau erweitert werden.

6.1 Mögliche Leitungsführung

Nachfolgend ist eine mögliche Trassenführung für die Versorgung der Gebäude im kleinen und großen Gebiet dargestellt. Diese kann im Rahmen der weiteren Planung verändert und optimiert werden.



Abb. 11: mögliche Leitungsführung kleines (rot) und großes Gebiet (rot + grün). Hausanschlüsse in Gelb (Quelle: Google Earth)

6.2 Netzdaten

Wärmenetz Variante 1 kleines Gebiet

Netzlänge rund 240 m

Wärmedichte ca. 2.290 kWh/m x a

Wärmenetz Varianten 2 + 3 großes Gebiet

Netzlänge rund 560 m

Wärmedichte ca. 1.250 kWh/m x a

7 Energiebilanz

Wärmeverbrauch

Bei allen Gebäuden wird eine Vollwärmeversorgung angestrebt. Dies bedeutet, dass in den Gebäuden keine eigenen Energieerzeuger eingesetzt werden.

Es ergeben sich für die Nahwärmeversorgungen folgende Wärmeverbräuche:

Variante 1 kleines Gebiet

Grundschule Schnait	200.000 kWh/a
WEG Wiesentalstraße	295.000 kWh/a
<u>WEG Mozartstraße</u>	<u>55.000 kWh/a</u>
Summe Wärmeverbrauch Variante 1	550.000 kWh/a

Varianten 2 und 3 großes Gebiet

Grundschule Schnait	200.000 kWh/a
WEG Wiesentalstraße	295.000 kWh/a
WEG Mozartstraße	55.000 kWh/a
<u>Schnaiter Turnhalle</u>	<u>155.000 kWh/a</u>
Summe Wärmeverbrauch Varianten 2 und 3	705.000 kWh/a

7.1 Variante 1: 1 BHKW kleines Gebiet

Wärmebilanz

Grundschule Schnait	200.000 kWh/a
WEG Wiesental	295.000 kWh/a
WEG Mozartstraße	55.000 kWh/a
<u>Netzverluste</u>	<u>25.000 kWh/a</u>
Wärmeverbrauch gesamt	575.000 kWh/a
Wärmeerzeugung Blockheizkraftwerk 1 x 100 kW x 4.700 h =	470.000 kWh/a
<u>Wärmeerzeugung Erdgasbrennwertkessel</u>	<u>105.000 kWh/a</u>
Wärmeerzeugung gesamt	575.000 kWh/a

Brennstoffbilanz

Gas BHKW Hi	1 x 160 kW x 4.700 h =	752.000 kWh/a
Gas Zusatzkessel Hi	105.000 kWh : 90 % =	117.000 kWh/a
<hr/>		
Gasverbrauch Hi		887.000 kWh/a

Strombilanz

Strom BHKW	1 x 50 kW x 4.700 h =	235.000 kWh/a
<hr/>		
Stromerzeugung		235.000 kWh/a
Stromverbrauch Heizzentrale		10.000 kWh/a
Stromrücklieferung		235.000 kWh/a

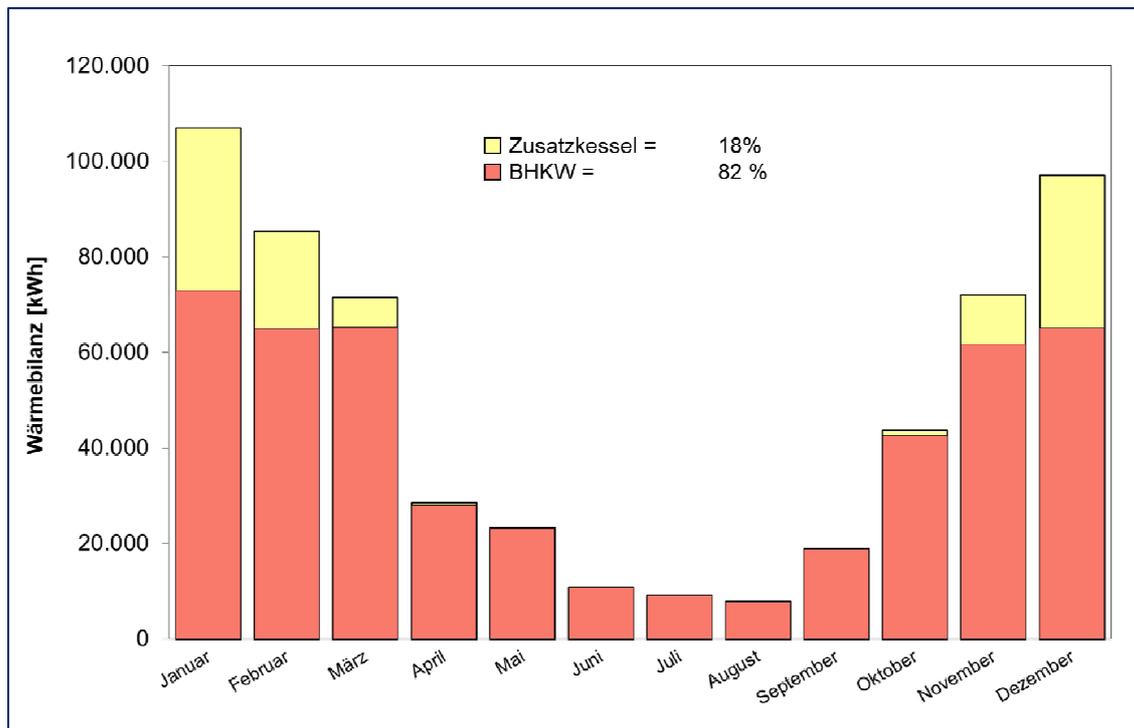


Abb. 12: Monatliche Bedarfsdeckung der Nahwärmeversorgung der Variante 1. Der rote Anteil entspricht dem Deckungsanteil des BHKW, der gelbe Anteil stellt die Erzeugung durch Zusatzkessel dar.

7.2 Variante 2: 2 BHKW großes Gebiet

Wärmebilanz

Grundschule		200.000 kWh/a
WEG Wiesental		295.000 kWh/a
WEG Mozartstraße		55.000 kWh/a
Schnaiter Turnhalle		155.000 kWh/a
Netzverluste		50.000 kWh/a
<hr/>		
Wärmeverbrauch gesamt		755.000 kWh/a

Wärmeerzeugung Blockheizkraftwerk	2 x 100 kW x 3.600 h =	720.000 kWh/a
-----------------------------------	------------------------	---------------

Wärmeerzeugung Zusatzkessel	35.000 kWh/a
Wärmeerzeugung gesamt	755.000 kWh/a

Brennstoffbilanz

Gas BHKW Hi	2 x 160 kW x 3.600 h =	1.152.000 kWh/a
Gas Zusatzkessel Hi	35.000 kWh : 90 % =	39.000 kWh/a
Gasverbrauch Hi		1.191.000 kWh/a

Strombilanz

Strom BHKW	2 x 50 kW x 3.600 h =	360.000 kWh/a
Stromerzeugung		360.000 kWh/a

Stromverbrauch Heizzentrale	15.000 kWh/a
Stromrücklieferung	360.000 kWh/a

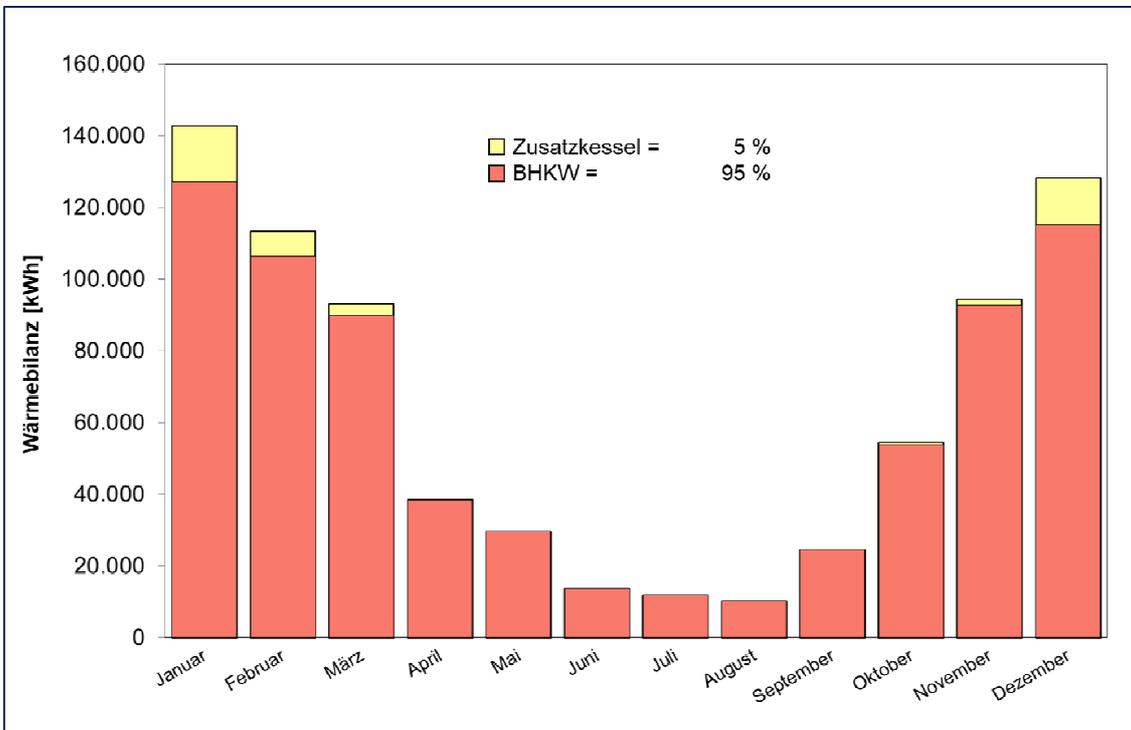


Abb. 13: Monatliche Bedarfsdeckung der Nahwärmeversorgung der Variante 2. Der rote Anteil entspricht dem Deckungsanteil der BHKW, der gelbe Anteil stellt die Erzeugung durch Zusatzkessel dar.

7.3 Variante 3: Wärmepumpen großes Gebiet

Wärmebilanz

Grundschule	200.000 kWh/a
WEG Wiesental	295.000 kWh/a
WEG Mozartstraße	55.000 kWh/a
Schnaiter Turnhalle	155.000 kWh/a
Netzverluste	50.000 kWh/a
Wärmeverbrauch gesamt	755.000 kWh/a

Wärmeerzeugung Wärmepumpen	590.000 kWh/a
Wärmeerzeugung Zusatzkessel	165.000 kWh/a
Wärmeerzeugung gesamt	755.000 kWh/a

Brennstoffbilanz

Heizöl Zusatzkessel	165.000 kWh : 85 % =	194.000 kWh/a
Gasverbrauch Hi		194.000 kWh/a

Strombilanz

Stromverbrauch Heizzentrale		15.000 kWh/a
Stromverbrauch Wärmepumpen	590.000 kWh/a : 2,7 =	219.000 kWh/a
Summe Strombezug		234.000 kWh/a

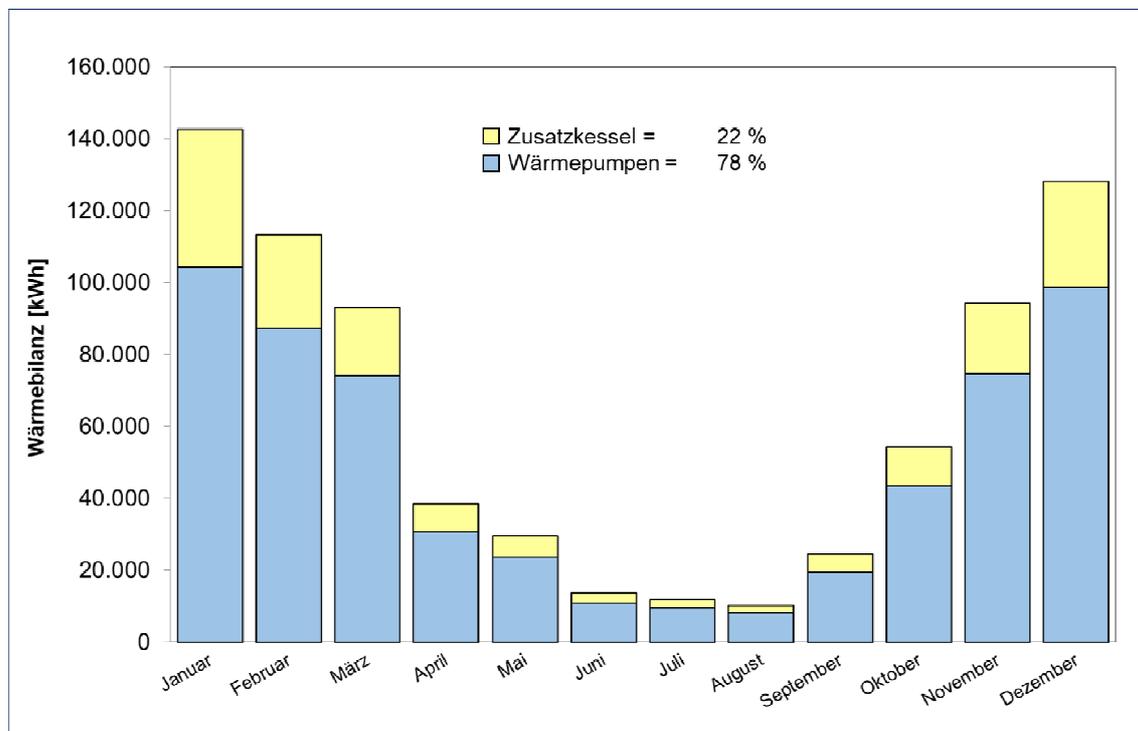


Abb. 14: Monatliche Wärmeerzeugung der Variante 3. Der blaue Anteil entspricht dem Deckungsanteil der Wärmepumpen, der gelbe Anteil stellt die Erzeugung durch Zusatzkessel dar.

8 Technische Realisierung

8.1 Heizzentrale

8.1.1 Konzeption Heizzentrale/Wärmeerzeugung

Für die Nahwärmeversorgung wird der bestehende Heizraum der Grundschule Schnait genutzt.

Heizzentrale für Varianten 1 und 2

Um eine Wärmeversorgung mit Blockheizkraftwerken aufzubauen, wird der bestehende Heizraum der Grundschule verwendet. Der bestehende Heizkessel wird durch neue Erdgasbrennwertkessel ersetzt. Bei Variante 1 wird nur 1 BHKW eingebaut, bei Variante 2 werden beide Module mit 12 Monaten Versatz eingebaut.

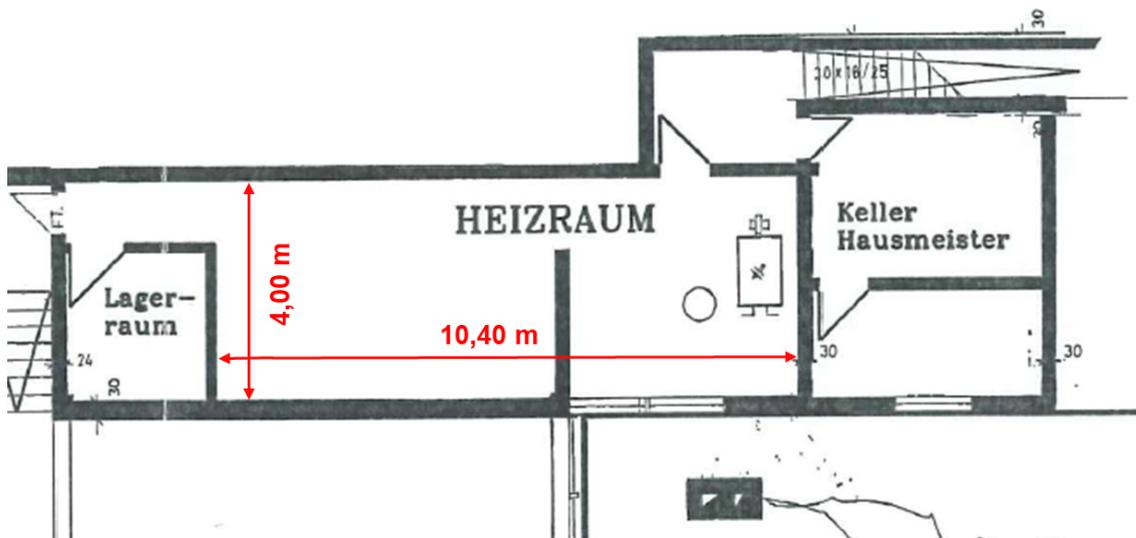


Abb. 15: bestehender Heizraum der Grundschule Schnait

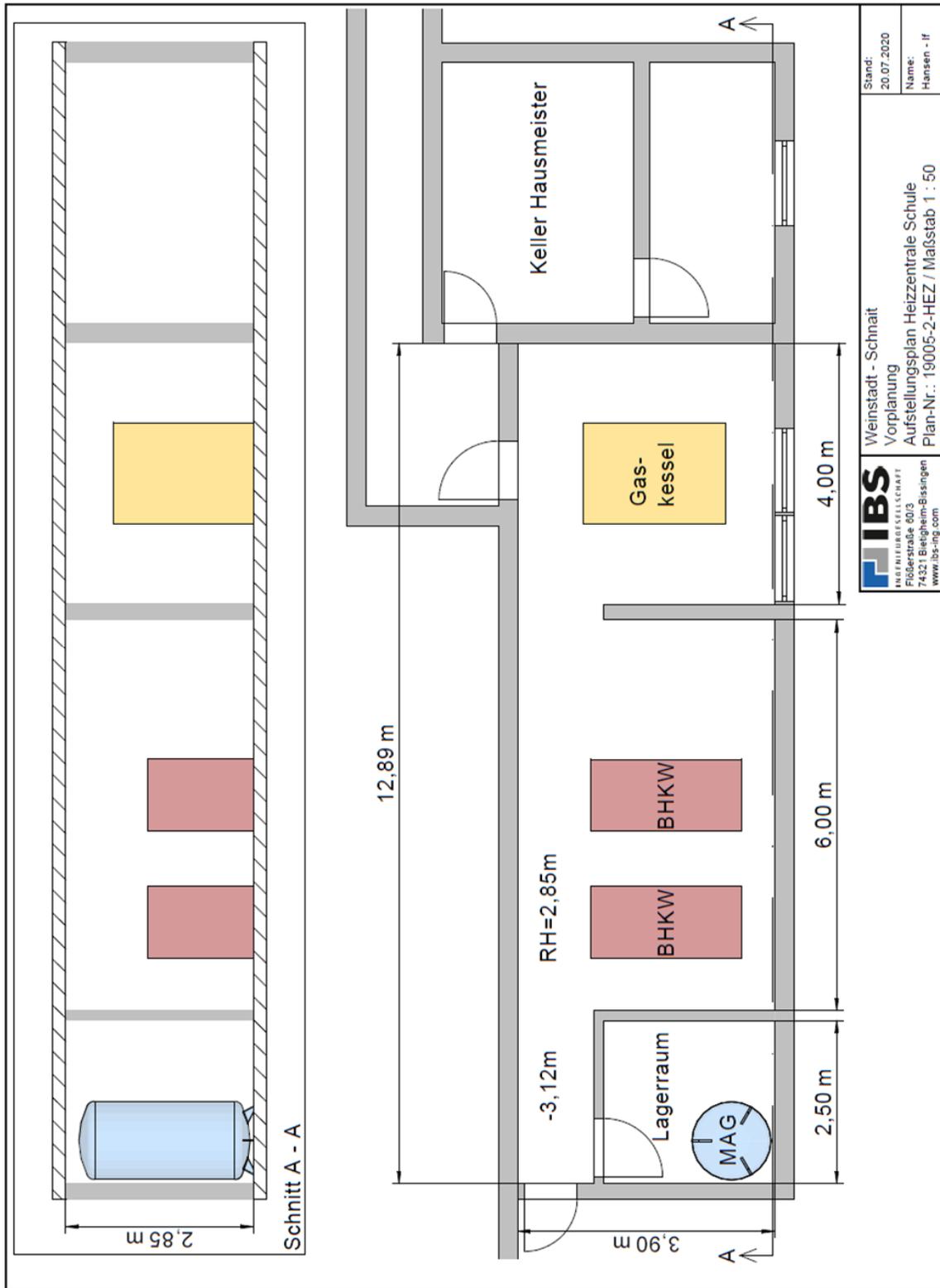


Abb. 16: Aufstellungsplan Heizzentrale für zwei Blockheizkraftwerke

Heizzentrale Variante 3

Für die Wärmeerzeugung wird auch bei Variante 3 die Grundschule Schnait als Standort gewählt. Die Wärmepumpen werden als Monoblocks auf dem Dach der Grundschule errichtet. Die Heizungstechnik wird im bestehenden Heizraum installiert. Der bestehende Heizkessel bleibt bestehen, kann aber bei Bedarf ersetzt werden.



Abb. 17: Aufstellfläche Wärmepumpen auf dem Dach der Grundschule
(Quelle: Google Earth)

Brennstoff

Blockheizkraftwerke und der Zusatzkessel bei den Varianten 1 und 2 werden mit Erdgas betrieben. Hierfür muss ein Gasanschluss in den Heizraum gelegt werden. Das Erdgasnetz ist in der Beethovenstraße östlich des Heizraums verlegt.

Die Wärmepumpen der Variante 3 werden über das öffentliche Stromnetz versorgt. Der bestehende Heizölkessel wird mit Heizöl betrieben. Der Heizöltank liegt erdverlegt südlich des Heizraums und wird weiter genutzt.

Wärmespeicher

Bei Variante 1 kann der Wärmespeicher eventuell in den Nebenräumen der Grundschule integriert werden. Alternativ werden die Wärmespeicher stehend oder liegend neben dem Grundschulgebäude errichtet.

8.2 Wärmenetz

Die Auslegung des Wärmenetzes erfolgte so, dass alle erfassten Gebäude im untersuchten Gebiet damit versorgt werden können. Im Straßenbereich werden Hauptleitungen verlegt. Von diesen zweigen Hausanschlussleitungen zu den jeweiligen Wärmeabnehmern ab. Die Länge der Wärmeleitung beträgt rund 240 m für die Variante 1 und rund 560 m für die Varianten 2 und 3.

Bei dieser Untersuchung wird von einer Verlegung von KMR-Doppelrohren ausgegangen. Diese haben den Vorteil, dass eine Netzüberwachung sowie hohe Drücke und Temperaturen im Leitungsnetz möglich sind. Alternativ wäre auch eine Verlegung von PEX-Kunststoffrohren möglich.

Bei den Übergabestationen der nichtöffentlichen Gebäude sind nur eine primärseitige Einbindung und deren Montage kalkuliert. Die sekundärseitige Einbindung sowie eine eventuelle Erneuerung der Warmwasserbereitung sind vom Kunden zu tragen.



Abb. 18: KMR-Duo-Rohr



Abb. 19: Verlegung KMR-Rohr

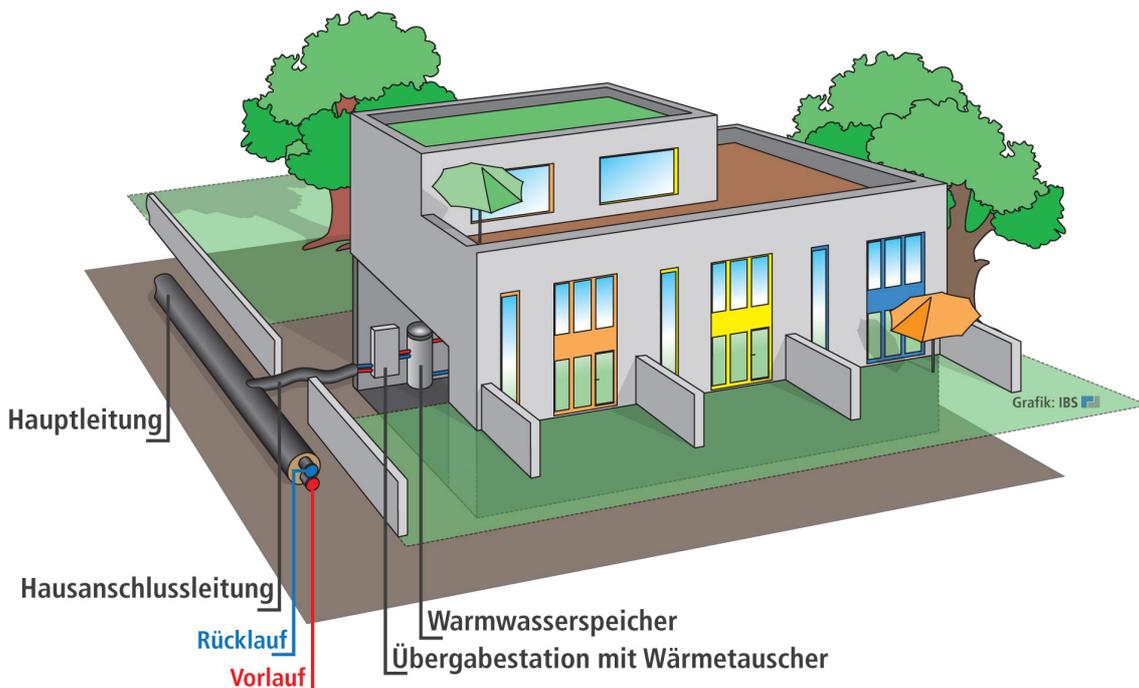


Abb. 20: schematische Darstellung der Nahwärmeversorgung

9 Förderung

Für eine Nahwärmeversorgung der Varianten 1 und 2 kommt eine Förderung nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) infrage. Für die Variante 3 wurde das kurz vor Verabschiedung stehende Bundesprogramm effiziente Wärmenetze BEW betrachtet. Es soll im Laufe des Jahres 2021 in Kraft treten.

Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)

Die Förderung nach dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz betrifft grundsätzlich alle Wärmenetze, die mit Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung betrieben werden.

Betrifft:	Nahwärmenetze, Wärmespeicher
Antragsberechtigte:	Nahwärmenetzbetreiber
Art der Förderung:	Die Förderung wird in Form eines Zuschusses durch den Stromnetzbetreiber gewährt.
Behörde:	Bundeswirtschaftsministerium
Abwicklung:	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
Bedingungen:	Das Nahwärmenetz muss im Ausbauzustand mindestens zu 75 % aus KWK-Wärme versorgt werden. Alternativ können auch erneuerbare Wärme und Abwärme eingesetzt werden, wenn sie in Summe mit KWK-Wärme über 75 % Deckungsanteil ergeben. Hierbei muss der KWK-Anteil mindestens 10 % betragen. Übergangsweise wird eine verringerte Förderung bei 50 % Deckungsanteil gewährt.
Förderhöhe:	40 % der ansatzfähigen Investitionskosten bei mindestens 75 % Deckungsanteil aus KWK-Wärme oder Energiemix (s. o.) 30 % der ansatzfähigen Investitionskosten bei mindestens 50 % Deckungsanteil aus Energiemix (s. o.) 250 €/m ³ bei Wärmespeichern bis 50 m ³ . 250 €/m ³ , aber max. 30 % der Investitionssumme bei Wärmespeichern größer 50 m ³ .
Sonstiges:	Antragstellung erst nach Inbetriebnahme möglich. Durch KWKG-Gesetz zugesicherter Förderbetrag wird nicht durch die KfW-Darlehen vorfinanziert und ist daher anderweitig zwischen zu finanzieren.

mögliche KWKG-Förderung Variante 1	rd. 84.500,--€
mögliche KWKG-Förderung Variante 2	rd. 173.500,-- €

Bundesförderprogramm Effiziente Wärmenetze BEW

Die Förderung nach dem BEW betrifft alle Wärmeerzeugungen und Wärmenetze, die mit Solarthermie, Großwärmepumpen, Biomasseheizungen, Abwärme und Geothermie betrieben werden.

Betrifft:	Wärmeerzeugung, Nahwärmenetze, Wärmespeicher
Antragsberechtigte:	Nahwärmenetzbetreiber
Art der Förderung:	Die Förderung wird in Form eines Zuschusses durch das Bafa gewährt.
Behörde:	Bundeswirtschaftsministerium
Abwicklung:	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
Bedingungen:	Wärmeerzeuger auf Basis erneuerbarer Energien, Geothermie, Abwärme Das Nahwärmenetz muss im Ausbauzustand mindestens zu 50 % aus erneuerbaren Energien oder Abwärme gespeist werden.
Förderhöhe:	40 % der ansatzfähigen Investitionen sowohl für Energieerzeugung als auch für Wärmenetze. Betriebsprämien für Wärmepumpen bis zu 7 ct/kWh Wärme abhängig von der Jahresarbeitszahl für eine Dauer von 10 Jahren. Betriebsprämie für Solarthermieanlagen für eine Dauer von 10 Jahren.

mögliche BEW-Förderung Variante 3

Investitionsförderung	rd. 330.000,-- €
Betriebsprämie (auf 10 Jahre)	rd. 38.000,-- €/a

Eine ausführliche Berechnung der Förderbeträge befindet sich im Anhang dieser Untersuchung.

10 Investitionskosten

Nachfolgend werden die Netto-Investitionskosten für die Wärmeversorgung der Varianten 1 bis 3 aufgeführt.

Investitionskosten Variante 1

Wärmenetz

Wärmeleitung	75.000,-- €
Tiefbauarbeiten Bestand	84.000,-- €
Nebenkosten	25.000,-- €
Summe	184.000,-- €

Übergabestationen

Übergabestation inkl. Einbindung	32.000,-- €
Nebenkosten	6.000,-- €
Summe	38.000,-- €

Heizungstechnik

BHKW 50 kW	110.000,-- €
Einbindung BHKW	5.000,-- €
Gas-Brennwertkessel	30.000,-- €
Abgasanlage	10.000,-- €
Heizungstechnik	60.000,-- €
Einbindung Grundschule	5.000,-- €
Wärmedämmung	15.000,-- €
Elektroarbeiten	25.000,-- €
Regelung	20.000,-- €
Wärmespeicher inkl. Dämmung	15.000,-- €
Gasanschluss	15.000,-- €
Nebenkosten	55.000,-- €
Summe	365.000,-- €

Bauliches

Umbaumaßnahmen/Fundamente	20.000,-- €
Nebenkosten	4.000,-- €
Summe	24.000,-- €

Kosten gesamt

Wärmenetz	184.000,-- €
Übergabestationen	38.000,-- €
Heizungstechnik	365.000,-- €
Bauliches	24.000,-- €
Summe	611.000,-- €

Investitionskosten Variante 2

Wärmenetz

Wärmeleitung	161.000,-- €
Tiefbauarbeiten Bestand	196.000,-- €
Nebenkosten	50.000,-- €
Summe	407.000,-- €

Übergabestationen

Übergabestation inkl. Einbindung	57.000,-- €
Nebenkosten	9.000,-- €
Summe	66.000,-- €

Heizungstechnik

BHKW 50 kW	110.000,-- €
BHKW 50 kW	110.000,-- €
Einbindung BHKW	10.000,-- €
Gas-Brennwertkessel	30.000,-- €
Abgasanlage	10.000,-- €
Heizungstechnik	60.000,-- €
Einbindung Turnhalle/Grundschule	15.000,-- €
Wärmedämmung	15.000,-- €
Elektroarbeiten	30.000,-- €
Regelung	20.000,-- €
Wärmespeicher inkl. Dämmung	15.000,-- €
Gasanschluss	15.000,-- €
Nebenkosten	70.000,-- €
Summe	510.000,-- €

Bauliches

Umbaumaßnahmen/Fundamente	20.000,-- €
Nebenkosten	4.000,-- €
Summe	24.000,-- €

Kosten gesamt

Wärmenetz	407.000,-- €
Übergabestationen	66.000,-- €
Heizungstechnik	510.000,-- €
Bauliches	24.000,-- €
Summe	1.007.000,-- €

Investitionskosten Variante 3**Wärmenetz**

Wärmeleitung	161.000,-- €
Tiefbau	196.000,-- €
Nebenkosten	50.000,-- €
Summe	407.000,-- €

Übergabestationen

Übergabestation inkl. Einbindung	57.000,-- €
Nebenkosten	9.000,-- €
Summe	66.000,-- €

Heizungstechnik

Wärmepumpen	70.000,-- €
Schalldämmhauben	30.000,-- €
Heizungstechnik	55.000,-- €
Einbindung Turnhalle/Grundschule	15.000,-- €
Wärmedämmung	25.000,-- €
Elektroarbeiten	22.000,-- €
Regelung	30.000,-- €
Wärmespeicher inkl. Dämmung	25.000,-- €
Nebenkosten	55.000,-- €
Summe	327.000,-- €

Bauliches

Umbaumaßnahmen/Fundamente	20.000,-- €
Nebenkosten	4.000,-- €
Summe	24.000,-- €

Kosten gesamt

Wärmenetz	407.000,-- €
Übergabestationen	66.000,-- €
Heizungstechnik	327.000,-- €
Bauliches	24.000,-- €
Summe	824.000,-- €

Die Zusammenfassung der Investitionskosten unter Einbeziehung der möglichen Förderungen ist in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

Investitionskosten netto	Variante 1 BHKW	Variante 2 2 BHKW	Variante 3 Wärmepumpen
Wärmenetz	184.000,--	407.000,--	407.000,--
Übergabestationen	38.000,--	66.000,--	66.000,--
Wärmeerzeugung	365.000,--	510.000,--	327.000,--
Bauliches	24.000,--	24.000,--	24.000,--
abzgl. mögliche Förderung	-85.000,--	-174.000,--	-330.000,--
Summe	526.000,--	833.000,--	494.000,--

11 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 durchgeführt und ist im **Anhang** im Detail aufgeführt.

11.1 Grundlagen

Die Aufwendungen setzen sich aus

- Kapitalkosten,
- Betriebskosten und
- Brennstoffkosten

zusammen.

Das System mit den geringsten Jahreskosten ist am wirtschaftlichsten.

Kapitalkosten

Aus dem Zinssatz und der Nutzungsdauer errechnet sich der Annuitätsfaktor, mit dem aus den Investitionskosten die jährlich anfallenden Kapitalkosten berechnet werden. Bei einem Zinssatz von 3,0 % ergeben sich folgende Annuitäten:

	Nutzungsdauer	Annuitätsfaktor
Heiztechnik	10/20 Jahre	11,72 %/6,72 %
Wärmenetz	40 Jahre	4,33 %
Bauliches	40 Jahre	4,33 %

Betriebskosten

Die Wartungs- und Instandhaltungskosten sind in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berücksichtigt. Weitere Betriebskosten sind die Stromkosten für Netzpumpen sowie Kosten für Geschäftsführung, Verwaltung und Bedienung.

Brennstoffkosten

Die Brennstoffkosten setzen sich aus den benötigten Brennstoffmengen und deren spezifischen Kosten zusammen.

11.2 Energiepreise

Es werden folgende Netto-Preise (ohne MwSt.) für Energie verwendet.

Erdgas

Erdgaspreis inkl. Mineralölsteuer* 4,0 ct/kWh

Heizöl

Heizölpreis 55,0 ct/Liter

CO₂-Besteuerung

Um die seit 2021 geltende CO₂-Steuer einzubeziehen, wurde auf Basis der bekannten Steigerungen eine Abschätzung auf 20 Jahre gerechnet.

CO₂-Steuer ab

2021	25 €/t
2022	30 €/t
2023	35 €/t
2024	45 €/t
2025	55 €/t
2026 min/max	55 €/t/65 €/t

Ansatz Mehrkosten durch CO₂-Steuer

Erdgas 1,06 ct/kWh

Heizöl 15,52 ct/Liter

Strombezug Heizzentrale

Für den Strombezug der Heizzentrale wird folgender Preis angesetzt:

Strom 21,00 ct/kWh

Stromeinspeisung

Als Einspeisepreis für die Rückspeisung des erzeugten Stroms ins öffentliche Netz wird der Börsenpreis EEX angesetzt

Strompreis EEX 4,00 ct/kWh

Hinzu kommen die vermiedenen Netznutzungsentgelte abhängig von der Spannungsebene, auf der eingespeist wird.

Weiterhin ist der vom KWKG festgelegte KWK-Zuschlag zu vergüten. Dieser wird für den gesamten erzeugten Strom vergütet.

KWK-Zuschlag für BHKW bis 50 kW**	Eigennutzung	Rücklieferung
	8,00 ct/kWh	16,00 ct/kWh

** für 30.000 Vollbenutzungsstunden

12 Jahreskosten

Die Jahreskosten wurden für die Nahwärmeversorgung der Varianten 1, 2 und 3 ermittelt.

Die folgende Tabelle zeigt die Jahresheizkosten unter Einbeziehung der möglichen Förderungen. Die im Jahre 2021 eingeführte CO₂-Steuer wurde zusätzlich ermittelt und aufgeführt. Teilt man die Jahresheizkosten durch den Wärmeverbrauch, erhält man den spezifischen Wärmepreis.

Jahresheizkosten für die Varianten 1, 2 und 3

Jahresheizkosten (ohne MwSt.)	Variante 1 1 x 50 kW €/a	Variante 2 2 x 50 kW €/a	Variante 3 Wärmepumpen €/a
Kapitalkosten	42.000,--	68.000,--	45.000,--
Betriebskosten	21.000,--	31.000,--	16.000,--
Brennstoffkosten	34.000,--	45.000,--	57.000,--
CO ₂ -Steuer	10.000,--	14.000,--	3.000,--
abzgl. Stromerlöse	-12.000,--	-19.000,--	,--
abzgl. Betriebsprämie (Mittelwert)			-19.000,--
abzgl. KWK-Zuschlag	-24.000,--	-48.000,--	,--
abzgl. mögliche Förderung	-4.000,--	-7.000,--	-18.000,--
Jahresheizkosten	67.000,--	84.000,--	84.000,--
Wärmegestehungspreis	12,2 ct/kWh	11,9 ct/kWh	11,9 ct/kWh
Nutzwärme	550.000 kWh/a	705.000 kWh/a	705.000 kWh/a

Die Jahresheizkosten für eine Nahwärmeversorgung mittels einem BHKW und für das kleine Gebiet liegen bei 67.000,-- € (Variante 1). Wird das Versorgungsgebiet um die Turnhalle erweitert und ein weiteres BHKW eingesetzt, ergeben sich Jahresheizkosten von 84.000,-- € (Variante 2). Werden statt der BHKW Wärmepumpen eingesetzt, ergeben sich unter Einbeziehung der möglichen BEW-Förderung Jahresheizkosten in Höhe von ebenfalls 84.000 €.

Daraus ergeben sich bei einem Nutzwärmeverbrauch von 550.000 kWh/a Netto-Wärmegestehungspreise von 12,2 ct/kWh für die Variante 1.

Bei dem Nutzwärmeverbrauch von 705.000 kWh/a bei den Varianten 2 und 3 ergeben sich jeweils Wärmegestehungspreise von 11,9 ct/kWh.

Die Werte spiegeln die Mittelwerte über 20 Jahre wider. Die mögliche Betriebsprämie nach dem BEW-Entwurf wird nur 10 Jahre gezahlt. Teilt man den zwanzigjährigen Betrachtungszeitraum für Variante 3 in jeweils zehnjährige Abschnitte, ergeben sich folgende Jahresheiz- und Wärmegestehungskosten (netto):

	1. - 10. Jahr	11. - 20. Jahr
Jahresheizkosten	65.000,-- €	103.000,-- €
Wärmegestehungspreis	9,2 ct/kWh	14,6 ct/kWh

13 Umweltbilanz

13.1 Energiebilanz

Im Folgenden wird die Einsparung an Treibhausgasen im Vergleich zu den vorhandenen Heizanlagen dargestellt. Es wurden folgende Brennstoffverteilungen für die Bestandsheizanlagen ermittelt:

	Variante 1	Variante 2
Erdgas	62 %	70,7 %
Heizöl	38 %	29,3 %

Variante 1 **42.000 Liter Heizöläquivalent/Jahr**

Variante 2 **62.000 Liter Heizöläquivalent/Jahr**

Variante 3 **31.000 Liter Heizöläquivalent/Jahr**

13.2 Emissionsbilanz Treibhausgase

Jedem Energiesystem kann ein äquivalenter, spezifischer CO₂-Emissionsfaktor zugeordnet werden. Darin sind neben den direkten Emissionen aus der Verbrennung auch die Emissionen der vorgelagerten Prozesskette wie Transport etc. berücksichtigt. Holz ist als erneuerbarer Energieträger zwar nahezu CO₂-neutral (Nullemission), trotzdem ergibt sich ein geringer Rest-Emissionsfaktor, der sich aus der Prozesskette zur Gewinnung und Aufbereitung der Energiehölzer sowie der benötigten Hilfsenergien (Strom) ableitet.

Der äquivalente CO₂-Emissionsfaktor berücksichtigt neben dem reinen CO₂-Ausstoß auch die anderen Luftschadstoffe mit Treibhauspotenzial.

	äquivalenter Emissionsfaktor CO ₂ [kg/kWh]
Heizöl	0,310
Erdgas	0,240
Strom (Bezug)	0,560
Strom (Verdrängungsmix)	0,860

Nachfolgend sind die CO₂-Bilanzen für die Wärmeversorgung der Varianten 1 bis 3 dargestellt.

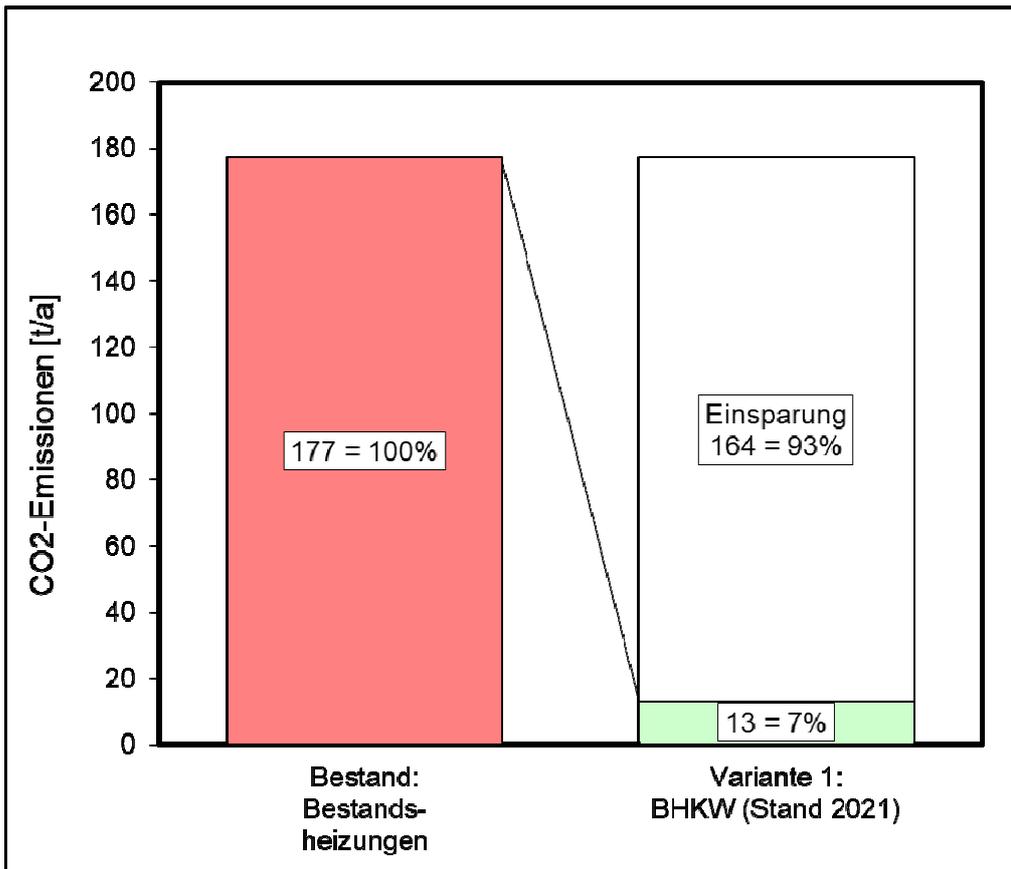


Abb. 21: CO₂-Emissionsbilanz Variante 1

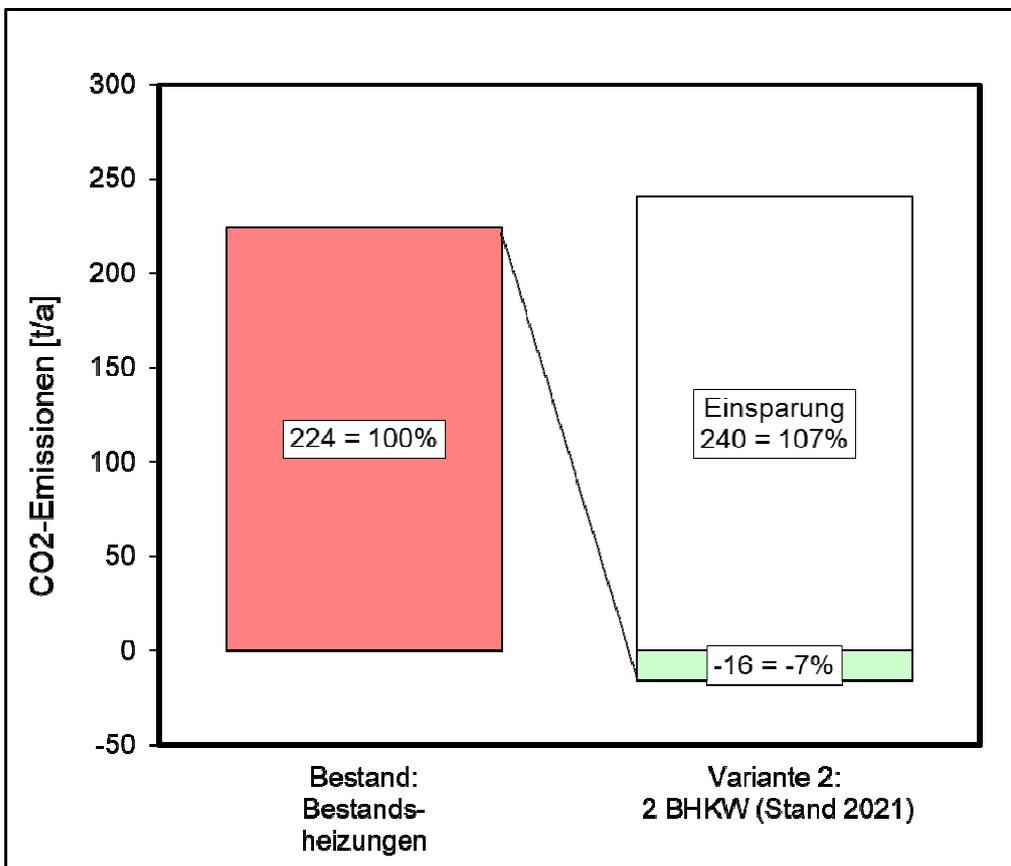


Abb. 22: CO₂-Emissionsbilanz Variante 2

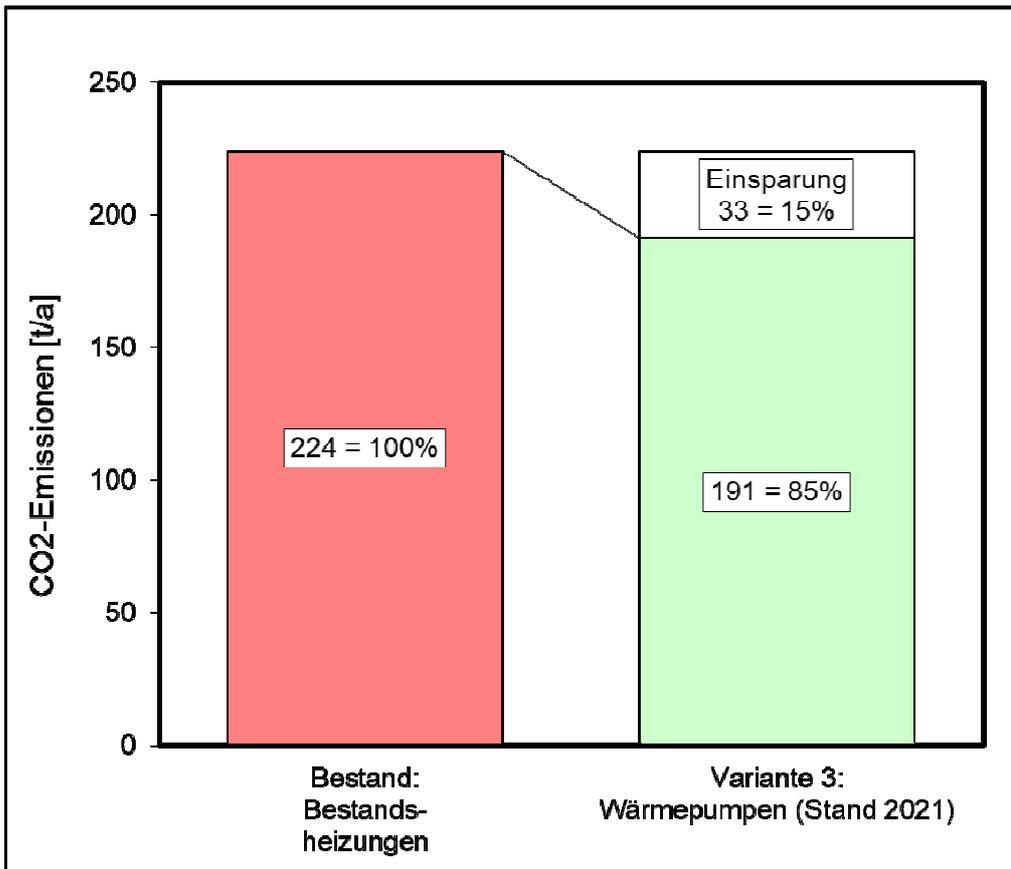


Abb. 23: CO₂-Emissionsbilanz Variante 3

Insgesamt können mit der Versorgung des kleinen Gebietes bei einer Nahwärmeversorgung beim Einsatz von einem Blockheizkraftwerk 164 Tonnen CO₂-Äquivalent eingespart werden (Variante 1). Beim Einsatz von zwei Blockheizkraftwerken für das große Gebiet können 240 Tonnen CO₂-Äquivalent eingespart werden (Variante 2). Dies entspricht Einsparungen in Höhe von 93 bzw. 107 %. Dies ist nur möglich, da der in den BHKW erzeugte Strom im GEG 2020 höher bewertet wird (Verdrängungsmix) als der bezogene Strom. In der Regel wird der CO₂-Faktor für Nah-/Fernwärme nicht kleiner als 0 zertifiziert. Bei dieser Betrachtungsweise würde sich die Einsparungen bei Variante 2 auf 100 % belaufen 224 Tonnen CO₂-Äquivalent im Jahr betragen.

Setzt man eine Wärmepumpe für die Versorgung des großen Gebietes ein, ergibt sich eine jährliche Einsparung von 33 Tonnen CO₂-Äquivalent, was 15 % gegenüber den Bestandsgebäuden entspricht. Da die erreichte Jahresarbeitszahl aufgrund der hohen Temperaturen nur gering ist (2,7), macht sich der hohe, schlecht bewertete Stromverbrauch bemerkbar. Bei zukünftig sinkenden CO₂-Emissionen für Strom wird die Bilanz für die Wärmepumpenvariante besser, wohingegen die BHKW-Varianten schlechter werden. Darüber hinaus könnte über eine zusätzlich auf dem Dach installierte Photovoltaikanlage, deren Strom für den Betrieb der Wärmepumpe genutzt würde, deren Umweltbilanz deutlich verbessert werden.

14 Anhang

14.1 Blockheizkraftwerke

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.

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.

14.1.1 Energiebilanz

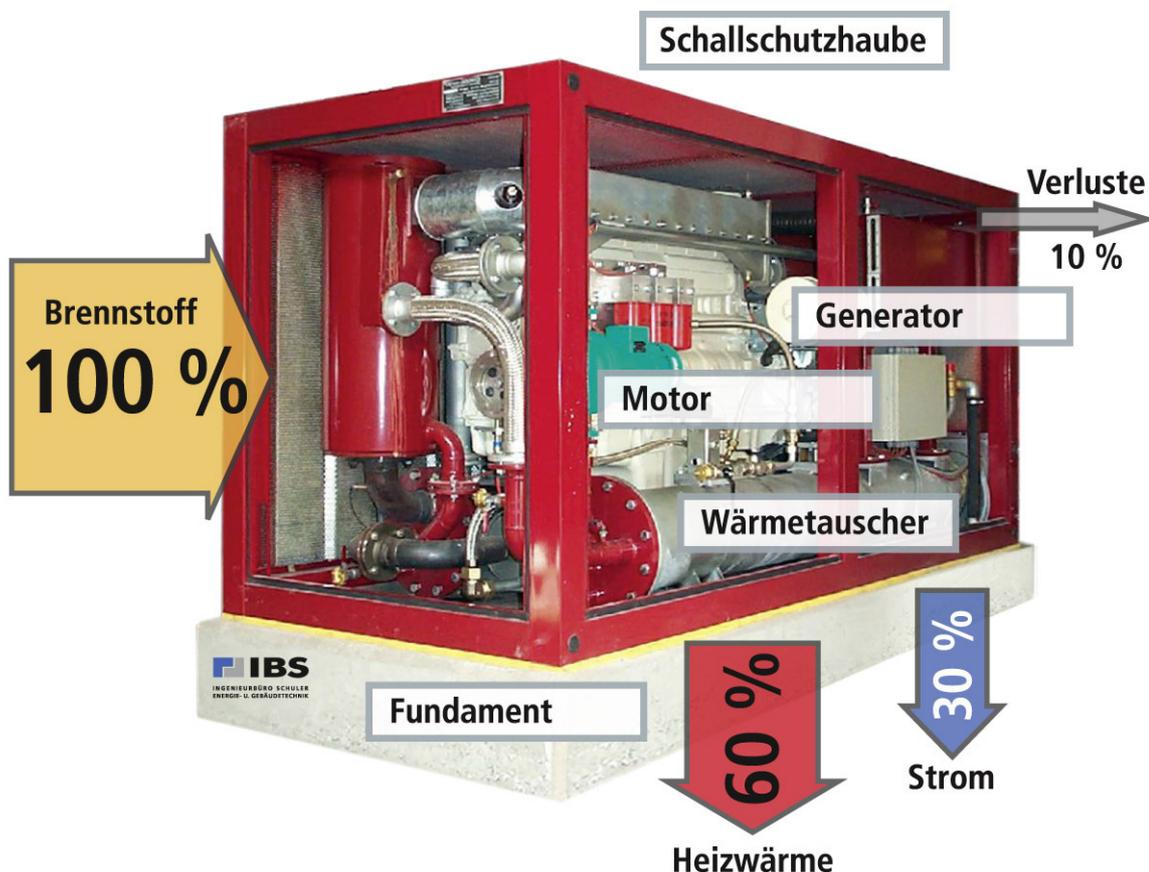


Abb. 24: Energiebilanz eines Blockheizkraftwerkes

Blockheizkraftwerke werden als Ergänzung zu vorhandenen Heizungs- und Stromversorgungsanlagen konzipiert und decken nur einen Teil des Gesamtwärmebedarfs, so dass immer zusätzliche Heizkessel erforderlich sind. Die kleinste Einheit stellt somit 1 Heizkessel und 1 Blockheizkraftwerksaggregat dar.



Abb. 25: Blockheizkraftwerk und Heizkessel

14.1.2 Stromvergütung

Blockheizkraftwerke werden in der Regel zur Eigenstromnutzung eingesetzt.

Der erzeugte Strom wird soweit möglich im Objekt selbst genutzt und senkt dadurch den Strombezug vom Energieversorgungsunternehmen (EVU) und somit die Strombezugskosten.

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 (Einspeiserlös).

Als Einspeisepreis gilt der mittlere Base-Load-Preis des letzten Quartals der Strombörse Leipzig (EEX).

Weiterhin ist vom EVU für den eingespeisten Strom das vermiedene Netznutzungs-entgelt zu bezahlen.

Eine zusätzliche Vergütung für den in das EVU-Netz eingespeisten Strom schreibt das seit dem 01.04.2002 gültige KWK-Gesetz vor. Danach sind die Energieversorgungsunternehmen verpflichtet, für Strom aus Blockheizkraftwerken einen gesetzlich festgelegten KWK-Zuschlag zu vergüten. Dies gilt seit 2009 auch für die selbst genutzte elektrische Energie und nicht mehr nur für die ins öffentliche Netz eingespeiste. Höhe und Dauer des KWK-Zuschlags richten sich nach der elektrischen Leistung des Blockheizkraftwerks (siehe Energiepreise).

Erdgas-BHKW

Vergütung nach KWKG bei Erdgas-BHKW

Kleine KWK-Anlagen bis 2 MW Leistung:

Dauer < 50 kW 30.000 Betriebsstunden

Dauer > 50 kW 30.000 Betriebsstunden

Eigenstromnutzung

BHKW bis 50 kW 8,00 ct/kWh

BHKW bis 100 kW

Leistungsanteil bis 50 kW 4,00 ct/kWh

Leistungsanteil bis 50 bis 100 kW 3,00 ct/kWh

Stromrücklieferung

BHKW bis 50 kW 16,00 ct/kWh

BHKW größer 50 kW

Leistungsanteil bis 50 kW	8,00 ct/kWh
Leistungsanteil bis 50 bis 100 kW	6,00 ct/kWh
Leistungsanteil bis 100 bis 250 kW	5,00 ct/kWh
Leistungsanteil bis 250 bis 2.000 kW	4,40 ct/kWh

Der KWK-Zuschlag wird zukünftig nur noch für 3.500 Vollbenutzungsdauern gezahlt.

In der Übergangsfrist bis 2026 werden folgende Vollbenutzungsdauern vergütet:

2020 und 2021	5.000 h
2022 und 2023	4.500 h
2024 und 2025	4.000 h
ab 2026	3.500 h

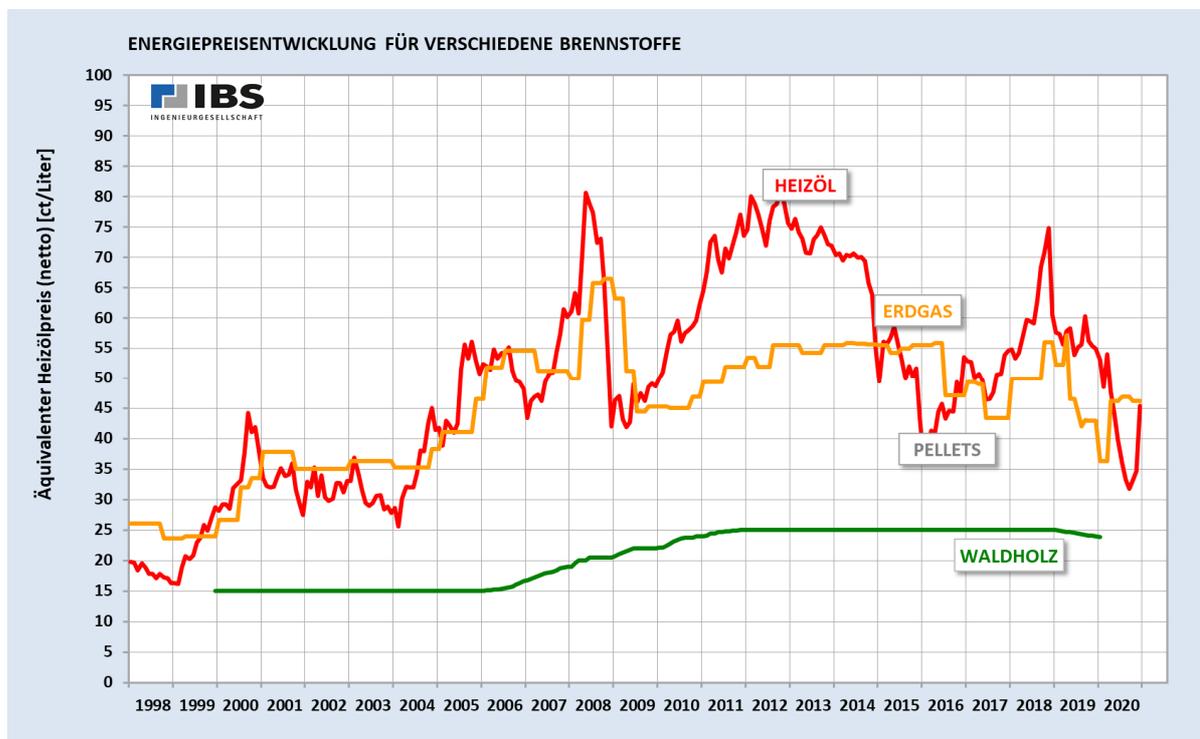
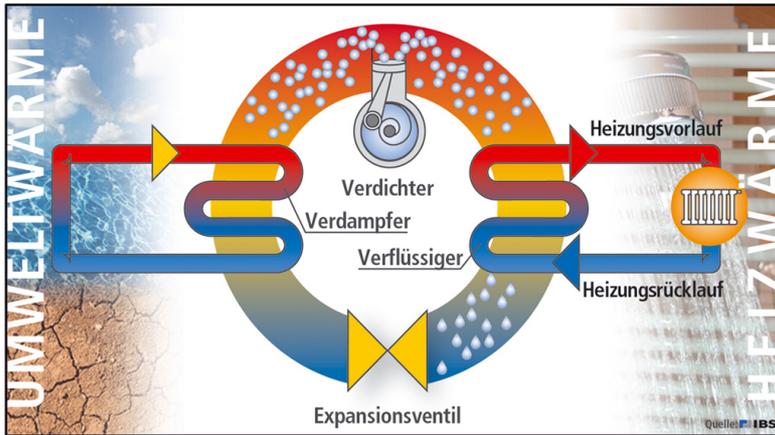


Abb. 26: Entwicklung Brennstoffpreis Heizöl, Erdgas und Waldholz (Hackschnitzel)

14.2 Wärmepumpen

Den wesentlichen Bestandteil einer Wärmepumpe bildet der Kältekreislauf, bestehend aus Verdampfer, Verdichter, Verflüssiger und Entspannungsventil. Die einzelnen Komponenten sind durch Rohrleitungen, die mit einem Kältemittel (FCKW-freies Arbeitsmedium) gefüllt sind, verbunden und bilden den hermetischen Kreislauf.

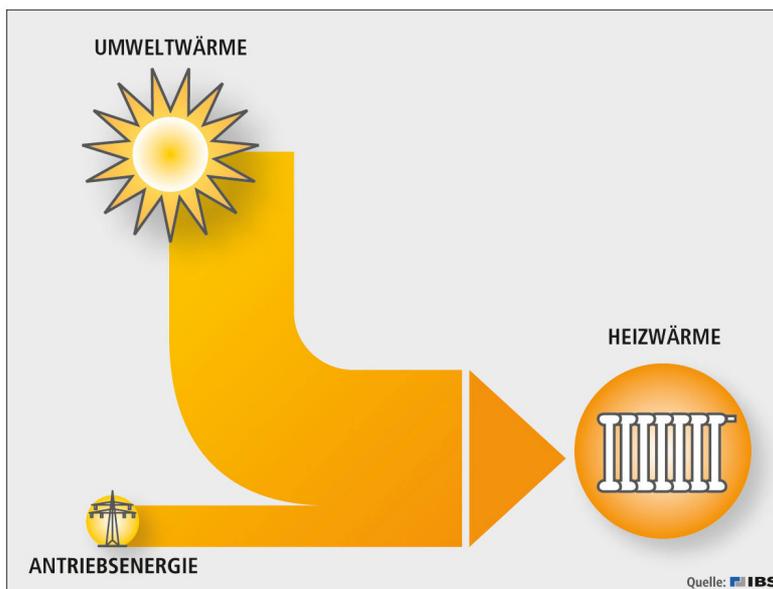
Über den Verdampfer nimmt das flüssige Kältemittel aus der Umgebung Energie auf und wird dabei verdampft. Anschließend wird das gasförmige Kältemittel im Verdichter komprimiert und gleichzeitig durch die Kompression auf ein höheres, zu Heizzwecken nutzbares Temperaturniveau angehoben.



Im Verflüssiger (Kondensator) gibt der heiße Arbeitsmitteldampf Wärme an das Heizsystem ab und wird dabei verflüssigt. Beim Durchströmen des Entspannungsventils wird das flüssige Kältemittel auf den Druck der Niederdruckseite entspannt und gelangt so wieder in den Ausgangszustand vor dem Verdampfer.

Abb. 27: Kreislaufprozess Wärmepumpe

Jeder Kältschrank arbeitet nach dem gleichem Prinzip. Die Wärmequelle stellt dort das Kältschrankinnere dar, dem solange Wärme entzogen wird, bis die gewünschte Kühltemperatur erreicht ist. Die entzogene Wärme wird über den Wärmetauscher (Verflüssiger) auf der Kältschrankrückseite an den Aufstellraum abgegeben.



Um die Wärme der Umwelt entziehen zu können und diese für Heizzwecke nutzbar zu machen, ist ein Anteil hochwertiger Energie in Form von Strom für den Antrieb des Verdichters notwendig.

Etwa 75 % der Heizwärme liefern die durch die Sonne oder das Erdinnere aufgewärmte Wärmequellen Luft, Wasser oder Erdreich.

Abb. 28: Energieflussdiagramm einer Wärmepumpe

14.3 Nahwärmeversorgung

14.3.1 Grundsätzliches

Eine Nahwärmeversorgung besteht grundsätzlich aus

- einer zentralen Wärmeerzeugungsanlage und
- einem Wärmeverteilnetz mit Wärmeübergabestationen.

Ein wesentlicher Vorteil von Nahwärmesystemen ist die Flexibilität hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen bei den Wärmeerzeugungstechniken.

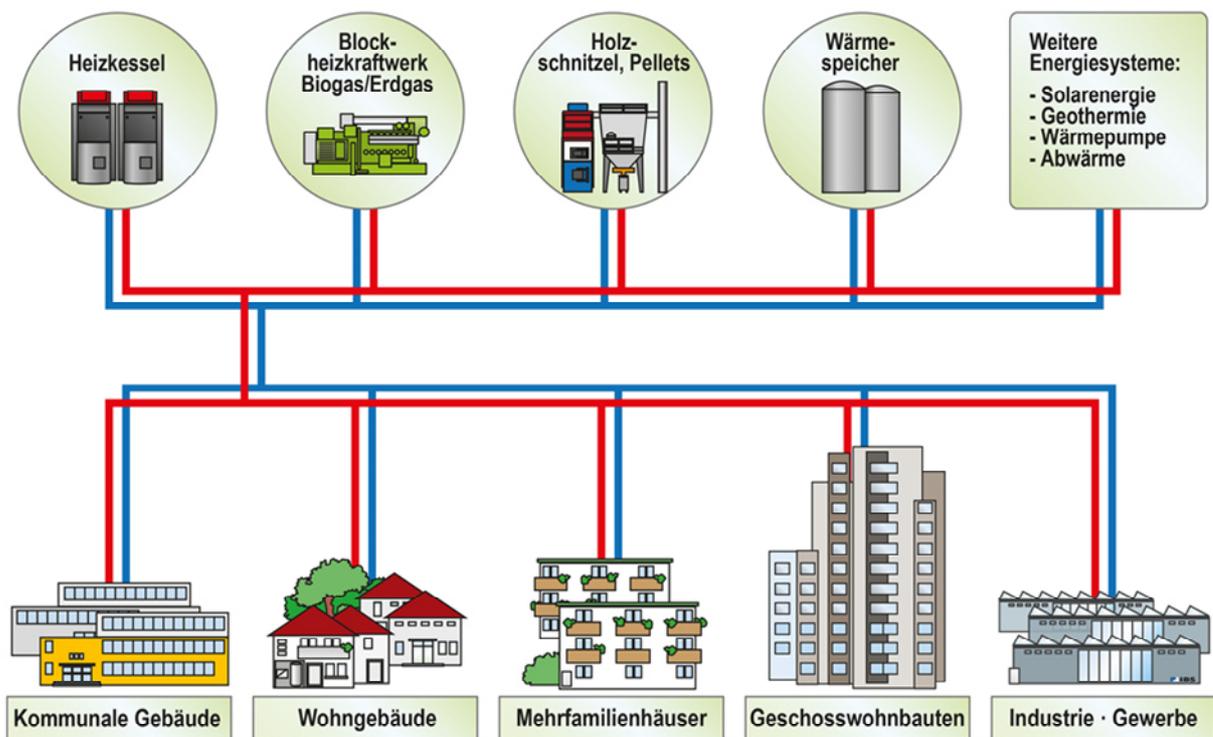


Abb. 29: Prinzipschema Wärmeverbund

Bei einer Nahwärmeversorgung entfallen in den Gebäuden, im Vergleich zu Einzelheizungen, folgende Anlagenkomponenten:

- Heizkessel und Brenner
- Heizraum
- Öltank bzw. Gasanschluss
- Kamin

14.3.2 Nahwärmenetz

Die wesentlichen Bestandteile eines Nahwärmenetzes sind im nachfolgenden Bild dargestellt:

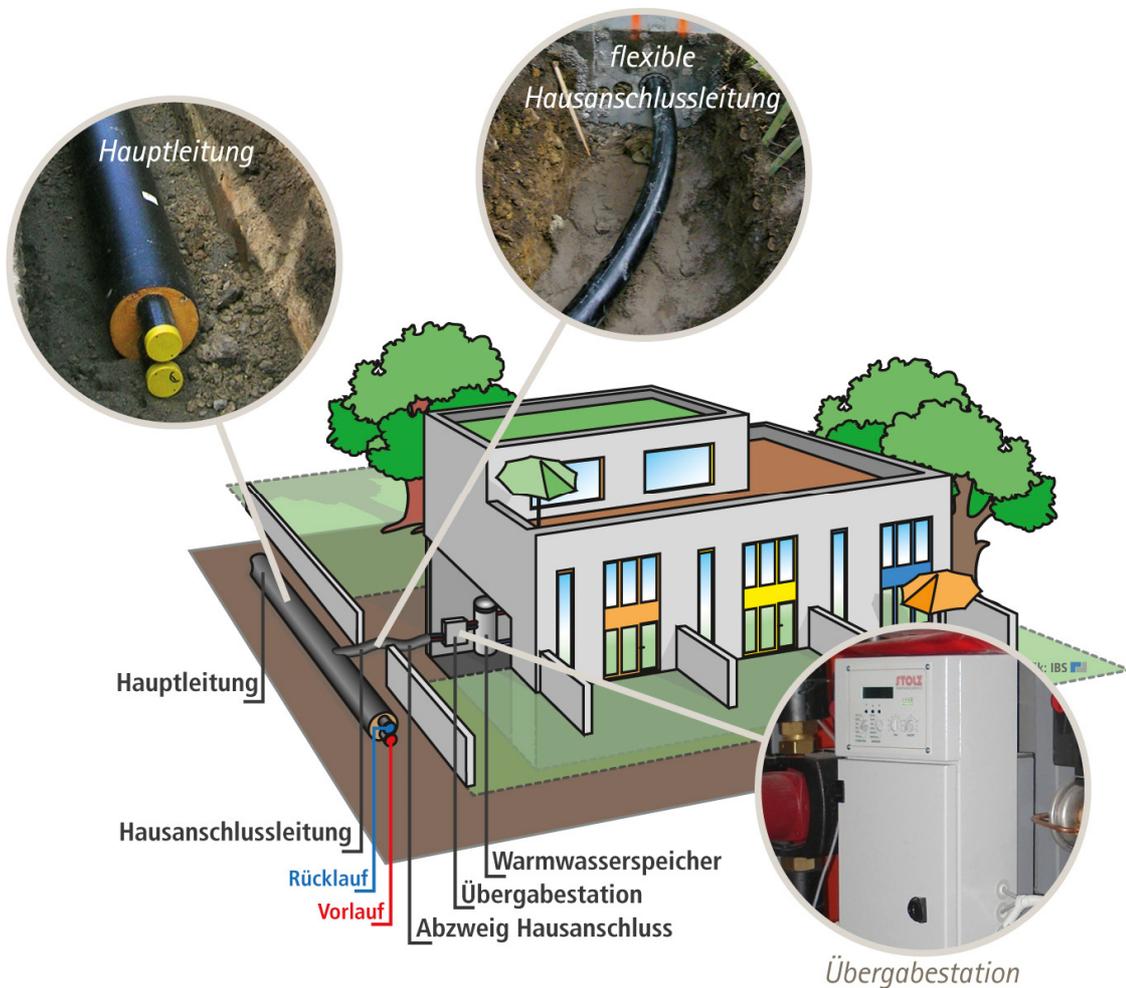


Abb. 30: wesentliche Bestandteile Nahwärmenetz

Wärmehaupt- und Hausanschlussleitungen

Die Wärmeleitungen werden als vorisolierte Leitungen im Erdreich verlegt.

Rohrsysteme

- Kunststoffmantelrohr (KMR)

Beim Kunststoffmantelrohr besteht das Medienrohr aus Stahl. Diese ist von einer Wärmedämmung aus PUR und einem Kunststoffmantelrohr (PE) umgeben. Üblicherweise wird dieses Rohr ab Nennweiten von DN 80 eingesetzt. Vorteile sind unter anderem die Einsatzmöglichkeiten auch bei höheren Drücken und Temperaturen. Nachteilig ist die aufwändige Verlegetechnik. Die Rohre haben üblicherweise eine Länge von 12 m und werden an den Stoßstellen verschweißt.

- Kunststoffrohr (PEX)

Bei Kunststoffrohren besteht das Medienrohr aus kreuzvernetztem Polyethylen (PEX) mit Sauerstoffdiffusionssperre. Vorteil des Systems ist die Flexibilität des Rohres und die dadurch einfache Verlegetechnik. Die Rohre werden auf Rollen von bis zu 100 m Länge angeliefert und können so über größere Längen einfach verlegt werden. Verbunden werden die Rohrstücke durch spezielle Rohrkupplungen. PEX-Leitungen unterliegen Einschränkungen bezüglich Temperatur und Druck innerhalb der Leitung (max. 85 °C). Je höher der Druck in der Leitung, desto geringer ist die zulässige Temperatur.

Beide Systeme können als Doppelrohre eingesetzt werden. Dabei befinden sich Vor- und Rücklauf innerhalb einer gemeinsamen Wärmedämmung.

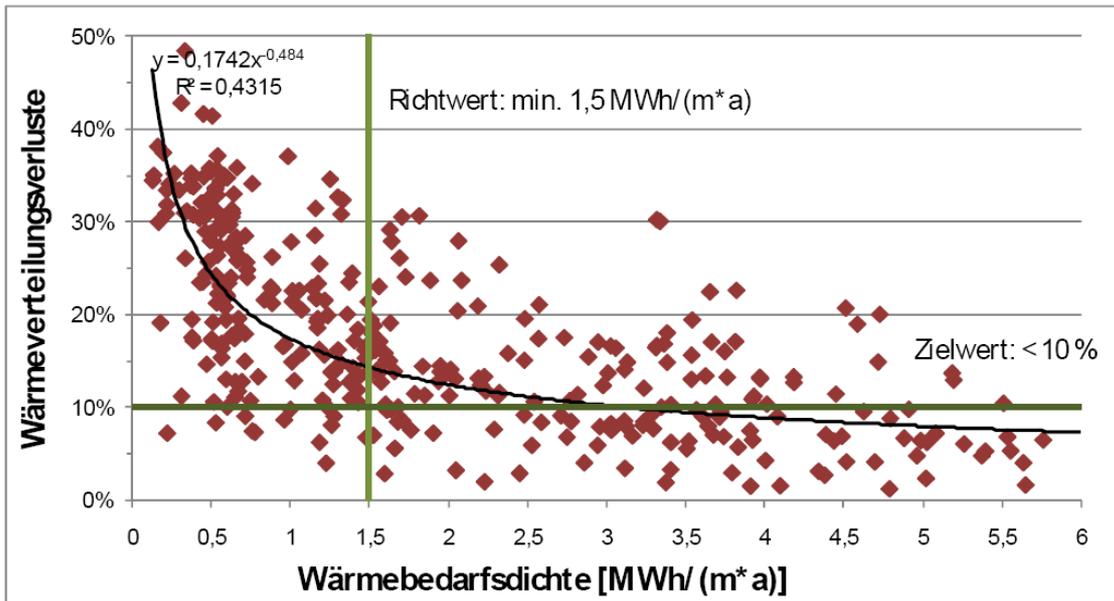
Übergabestationen

In jedem Gebäude wird eine Übergabestation mit folgenden Bauteilen eingebaut:

- Regeleinrichtungen
- Absperreinrichtungen
- Wärmezähler
- Warmwasserbereitung
- Plattenwärmetauscher zur Systemtrennung

14.3.3 Wärmedichte

In einem Fachvortrag über die Erfolgsfaktoren von Bioenergieanlagen mit Nahwärmenetzen werden Anschlussdichten größer 1.500 kWh je Trassenmeter als wirtschaftlich gut umsetzbar angesehen. Den Zusammenhang zeigt die unten dargestellte Abbildung. Grundlage ist die Evaluation von bestehenden Biomasseheizwerken.



Datenbasis: Heizwerke mit Wärmenetz > 200 m und mehr als 2 Hausübergabestationen;
n = 377

Abb. 31: Auswertung der prozentualen Wärmeverluste in Abhängigkeit der Anschlussdichte (Quelle: Erfolgsfaktoren von Bioenergieanlagen mit Nahwärmenetzen, 18. Bioenergiesymposium, Kloster Banz 2009)

Die KfW legt in ihren Förderrichtlinien eine Anschlussdichte von 500 kWh/m als Untergrenze für eine Förderung durch das Programm „Erneuerbare Energien“ fest. Wärmenetze mit einer geringen Anschlussdichte weisen Netzverluste von 25 bis 30 % bezogen auf die gelieferte Wärmemenge auf und sind, durch den Wegfall der Förderung, meist nicht wirtschaftlich.

15 Berechnungen

15.1 Investitionskosten

Variante 1

Wärmenetz

Wärmeleitung	75.000,-- €
Tiefbauarbeiten Bestand	84.000,-- €
Nebenkosten	25.000,-- €
Summe	184.000,-- €

Übergabestationen

Übergabestation inkl. Einbindung	32.000,-- €
Nebenkosten	6.000,-- €
Summe	38.000,-- €

Heizungstechnik

BHKW 50 kW	110.000,-- €
Einbindung BHKW	5.000,-- €
Gas-Brennwertkessel	30.000,-- €
Abgasanlage	10.000,-- €
Heizungstechnik	60.000,-- €
Einbindung Grundschule	5.000,-- €
Wärmedämmung	15.000,-- €
Elektroarbeiten	25.000,-- €
Regelung	20.000,-- €
Wärmespeicher inkl. Dämmung	15.000,-- €
Gasanschluss	15.000,-- €
Nebenkosten	55.000,-- €
Summe	365.000,-- €

Bauliches

Umbaumaßnahmen/Fundamente	20.000,-- €
Nebenkosten	4.000,-- €
Summe	24.000,-- €

Kosten gesamt

Wärmenetz	184.000,-- €
Übergabestationen	38.000,-- €
Heizungstechnik	365.000,-- €
Bauliches	24.000,-- €
Summe	611.000,-- €

Variante 2**Wärmenetz**

Wärmeleitung	161.000,-- €
Tiefbauarbeiten Bestand	196.000,-- €
Nebenkosten	50.000,-- €
Summe	407.000,-- €

Übergabestationen

Übergabestation inkl. Einbindung	57.000,-- €
Nebenkosten	9.000,-- €
Summe	66.000,-- €

Heizungstechnik

BHKW 50 kW	110.000,-- €
BHKW 50 kW	110.000,-- €
Einbindung BHKW	10.000,-- €
Gas-Brennwertkessel	30.000,-- €
Abgasanlage	10.000,-- €
Heizungstechnik	60.000,-- €
Einbindung Turnhalle/Grundschule	15.000,-- €
Wärmedämmung	15.000,-- €
Elektroarbeiten	30.000,-- €
Regelung	20.000,-- €
Wärmespeicher inkl. Dämmung	15.000,-- €
Gasanschluss	15.000,-- €
Nebenkosten	70.000,-- €
Summe	510.000,-- €

Bauliches

Umbaumaßnahmen/Fundamente	20.000,-- €
Nebenkosten	4.000,-- €
Summe	24.000,-- €

Kosten gesamt

Wärmenetz	407.000,-- €
Übergabestationen	66.000,-- €
Heizungstechnik	510.000,-- €
Bauliches	24.000,-- €
Summe	1.007.000,-- €

Variante 3**Wärmenetz**

Wärmeleitung	161.000,-- €
Tiefbau	196.000,-- €
Nebenkosten	50.000,-- €
Summe	407.000,-- €

Übergabestationen

Übergabestation inkl. Einbindung	57.000,-- €
Nebenkosten	9.000,-- €
Summe	66.000,-- €

Heizungstechnik

Wärmepumpen	70.000,-- €
Schalldämmhauben	30.000,-- €
Heizungstechnik	55.000,-- €
Einbindung Turnhalle/Grundschule	15.000,-- €
Wärmedämmung	25.000,-- €
Elektroarbeiten	22.000,-- €
Regelung	30.000,-- €
Wärmespeicher inkl. Dämmung	25.000,-- €
Nebenkosten	55.000,-- €
Summe	327.000,-- €

Bauliches

Umbaumaßnahmen/Fundamente	20.000,-- €
Nebenkosten	4.000,-- €
Summe	24.000,-- €

Kosten gesamt

Wärmenetz	407.000,-- €
Übergabestationen	66.000,-- €
Heizungstechnik	327.000,-- €
Bauliches	24.000,-- €
Summe	824.000,-- €

15.2 Förderung

Förderung KWKG

Variante 1: 1 BHKW kleines Gebiet

Förderung KWK-G

Förderfähige Investitionen					204.000,-- €
40 % des Invests bei mehr als 75 % KWK oder EE+KWK	204.000,-- €	x	40 %	=	81.600,-- €
30 % des Invests bei mehr als 50 % EE+KWK					
Förderung Wärmespeicher					
Förderung 250 €/m ³		10 m ³	x	250 €/m ³	= 2.500,-- €
max. 30 % der Investitionskosten	15.000,-- €	x	30%	=	4.500,-- €
anrechenbare Förderung Wärmespeicher					2.500,-- €
Förderung Wärmenetz					82.000,-- €
Förderung Wärmespeicher					2.500,-- €
Förderung KWK-G gesamt				rund	84.500,-- €

Variante 2: 2 BHKW großes Gebiet

Förderung KWK-G

Förderfähige Investitionen					427.000,-- €
40 % des Invests bei mehr als 75 % KWK oder EE+KWK	427.000,-- €	x	40 %	=	170.800,-- €
30 % des Invests bei mehr als 50 % EE+KWK					
Förderung Wärmespeicher					
Förderung 250 €/m ³		10 m ³	x	250 €/m ³	= 2.500,-- €
max. 30 % der Investitionskosten	15.000,-- €	x	30%	=	4.500,-- €
anrechenbare Förderung Wärmespeicher					2.500,-- €
Förderung Wärmenetz					171.000,-- €
Förderung Wärmespeicher					2.500,-- €
Förderung KWK-G gesamt				rund	173.500,-- €

BEW Bundesförderung Effiziente Wärmenetze

Variante 3: Wärmepumpe großes Gebiet

Investitionsförderung					824.000,-- €
Investitionskosten					
Förderung	824.000,-- €	x	40%	=	329.600,-- €
davon					
Netzanteil	407.000,-- €	x	40%	=	162.800,-- €
Technikanteil	417.000,-- €	x	40%	=	166.800,-- €
					329.600,-- €
Betriebsprämie für 10 Jahre	590.000 kWh/a	x	6,5 ct/kWh	=	38.350,-- €
Betriebsprämie über 20 Jahre gemittelt	590.000 kWh/a	x	3,25 ct/kWh	=	19.175,-- €

15.3 Kapitalkosten

Variante 1: 1 BHKW kleines Gebiet

Kapitalkosten Erzeugung	Investitions- kosten €	Kapitalkosten Zins: 3,0%			Wart./Instandh.	
		Nutzung Jahre	Annuität %/a	Kosten €/a	Kosten %/a €/a	
Wärmenetz						
Wärmeleitung	75.000,-	40	4,33%	3.248,-	1,0%	750,-
Tiefbauarbeiten Bestand	84.000,-	40	4,33%	3.637,-	0,0%	,--
Nebenkosten	25.000,-	40	4,33%	1.083,-	0,0%	,--
Wärmeübergabe						
Übergabestation inkl. Einbindung	32.000,-	20	6,72%	2.150,-	2,0%	640,-
Nebenkosten	6.000,-	20	6,72%	403,-	0,0%	,--
Heizungstechnik						
BHKW 50 kW	110.000,-	10	11,72%	12.892,-	Vollwartung	
Einbindung BHKW	5.000,-	20	6,72%	336,-	2,0%	100,-
Gas-Brennwertkessel	30.000,-	20	6,72%	2.016,-	3,0%	900,-
Abgasanlage	10.000,-	20	6,72%	672,-	0,5%	50,-
Heizungstechnik	60.000,-	20	6,72%	4.032,-	2,0%	1.200,-
Einbindung Grundschule	5.000,-	20	6,72%	336,-	2,0%	100,-
Wärmedämmung	15.000,-	20	6,72%	1.008,-	0,5%	75,-
Elektroarbeiten	25.000,-	20	6,72%	1.680,-	0,5%	125,-
Regelung	20.000,-	20	6,72%	1.344,-	2,5%	500,-
Wärmespeicher inkl. Dämmung	15.000,-	20	6,72%	1.008,-	0,5%	75,-
Gasanschluss	15.000,-	20	6,72%	1.008,-	0,5%	75,-
Nebenkosten	55.000,-	20	6,72%	3.696,-	0,0%	,--
Bauliches						
Umbaumaßnahmen/Fundamente	20.000,-	40	4,33%	866,-	0,5%	100,-
Nebenkosten	4.000,-	40	4,33%	173,-	0,0%	,--
Summe	611.000,-			41.588,-		4.690,-
			rd.	42.000,-	rd.	5.000,-
Kapitalisierte Förderung Netz	82.000,-	40	4,33%	3.551,-		
			rd.	4.000,-		
Kapitalisierte Förderung Technik	2.500,-	20	6,72%	168,-		
			rd.	,--		

Variante 2: 2 BHKW großes Gebiet

Kapitalkosten Erzeugung	Investitions- kosten €	Kapitalkosten Zins: 3,0%			Wart./Instandh.	
		Nutzung Jahre	Annuität %/a	Kosten €/a	Kosten %/a	Kosten €/a
Wärmenetz						
Wärmeleitung	161.000,--	40	4,33%	6.971,--	1,0%	1.610,--
Tiefbauarbeiten Bestand	196.000,--	40	4,33%	8.487,--	0,0%	,--
Nebenkosten	50.000,--	40	4,33%	2.165,--	0,0%	,--
Wärmeübergabe						
Übergabestation inkl. Einbindung	57.000,--	20	6,72%	3.830,--	2,0%	1.140,--
Nebenkosten	9.000,--	20	6,72%	605,--	0,0%	,--
Heizungstechnik						
BHKW 50 kW	110.000,--	10	11,72%	12.892,--		Vollwartung
BHKW 50 kW	110.000,--	10	11,72%	12.892,--		Vollwartung
Einbindung BHKW	10.000,--	20	6,72%	672,--	2,0%	200,--
Gas-Brennwertkessel	30.000,--	20	6,72%	2.016,--	3,0%	900,--
Abgasanlage	10.000,--	20	6,72%	672,--	0,5%	50,--
Heizungstechnik	60.000,--	20	6,72%	4.032,--	2,0%	1.200,--
Einbindung Turnhalle/Grundschule	15.000,--	20	6,72%	1.008,--	2,0%	300,--
Wärmedämmung	15.000,--	20	6,72%	1.008,--	0,5%	75,--
Elektroarbeiten	30.000,--	20	6,72%	2.016,--	0,5%	150,--
Regelung	20.000,--	20	6,72%	1.344,--	2,5%	500,--
Wärmespeicher inkl. Dämmung	15.000,--	20	6,72%	1.008,--	0,5%	75,--
Gasanschluss	15.000,--	20	6,72%	1.008,--	0,5%	75,--
Nebenkosten	70.000,--	20	6,72%	4.704,--	0,0%	,--
Bauliches						
Umbaumaßnahmen/Fundamente	20.000,--	40	4,33%	866,--	0,5%	100,--
Nebenkosten	4.000,--	40	4,33%	173,--	0,0%	,--
Summe	1.007.000,--		rd.	68.370,--		6.375,--
				68.000,--	rd.	6.000,--
Kapitalisierte Förderung Netz	171.000,--	40	4,33%	7.404,--		
			rd.	7.000,--		
Kapitalisierte Förderung Technik	2.500,--	20	6,72%	168,--		
			rd.	,--		

Variante 3: Wärmepumpe großes Gebiet

Kapitalkosten Erzeugung	Investitions- kosten €	Kapitalkosten Zins: 3,0%			Wart./Instandh.	
		Nutzung Jahre	Annuität %/a	Kosten €/a	Kosten %/a	Kosten €/a
Wärmenetz						
Wärmeleitung	161.000,--	40	4,33%	6.971,--	1,0%	1.610,--
Tiefbau	196.000,--	40	4,33%	8.487,--	0,0%	,--
Nebenkosten	50.000,--	40	4,33%	2.165,--	0,0%	,--
Wärmeübergabe						
Übergabestation inkl. Einbindung	57.000,--	20	6,72%	3.830,--	2,0%	1.140,--
Nebenkosten	9.000,--	20	6,72%	605,--	0,0%	,--
Heizungstechnik						
Wärmepumpen	70.000,--	20	6,72%	4.704,--	3,0%	2.100,--
Schalldämmhauben	30.000,--	20	6,72%	2.016,--	0,5%	150,--
Heizungstechnik	55.000,--	20	6,72%	3.696,--	2,0%	1.100,--
Einbindung Turnhalle/Grundschule	15.000,--	20	6,72%	1.008,--	1,5%	225,--
Wärmedämmung	25.000,--	20	6,72%	1.680,--	0,5%	125,--
Elektroarbeiten	22.000,--	20	6,72%	1.478,--	0,5%	110,--
Regelung	30.000,--	20	6,72%	2.016,--	2,5%	750,--
Wärmespeicher inkl. Dämmung	25.000,--	20	6,72%	1.680,--	0,5%	125,--
Nebenkosten	55.000,--	20	6,72%	3.696,--	0,0%	,--
Bauliches						
Umbaumaßnahmen/Fundamente	20.000,--	40	4,33%	866,--	0,5%	100,--
Nebenkosten	4.000,--	40	4,33%	173,--	0,0%	,--
Summe	824.000,--		rd.	45.072,--	rd.	7.535,--
Kapitalisierte Förderung Netz	162.800,--	40	4,33%	7.049,--		
			rd.	7.000,--		
Kapitalisierte Förderung Technik	166.800,--	20	6,72%	11.209,--		
			rd.	11.000,--		

15.4 Betriebskosten

Variante 1: 1 BHKW kleines Gebiet				
Wartung/Instandhaltung				4.690,-- €/a
Vollwartung BHKW	235.000 kWh/a	x	3,0 ct/kWh =	7.050,-- €/a
Modernisierung BHKW	70.000 €	:	20,0 a =	3.500,-- €/a
Betriebsstrom	10.000 kWh/a	x	21 ct/kWh =	2.100,-- €/a
Bedienung Heizzentrale	50 h/a	x	46,-- €/h =	2.280,-- €/a
Bedienung/Betreuung Wärmenetz	25 h/a	x	46,-- €/h =	1.140,-- €/a
Verwaltung / Abrechnung / Betreuung/Versicherung	3 WE	x	140,-- €/a =	420,-- €/a
Betriebskosten netto				21.180,-- €/a
			rd.	21.000,-- €/a

Variante 2: 2 BHKW großes Gebiet				
Wartung/Instandhaltung				6.375,-- €/a
Vollwartung BHKW 50 kW	360.000 kWh/a	x	3,0 ct/kWh =	10.800,-- €/a
Modernisierung BHKW	140.000 €	:	20,0 a =	7.000,-- €/a
Betriebsstrom	15.000 kWh/a	x	21 ct/kWh =	3.150,-- €/a
Bedienung Heizzentrale	50 h/a	x	46,-- €/h =	2.280,-- €/a
Bedienung/Betreuung Wärmenetz	25 h/a	x	46,-- €/h =	1.140,-- €/a
Verwaltung / Abrechnung / Betreuung/Versicherung	5 WE	x	140,-- €/a =	700,-- €/a
Betriebskosten netto				31.445,-- €/a
			rd.	31.000,-- €/a

Variante 3: Wärmepumpe großes Gebiet				
Wartung/Instandhaltung				7.535,-- €/a
Wartung/Instandhaltung Bestand				1.200,-- €/a
Betriebsstrom	15.000 kWh/a	x	21 ct/kWh =	3.150,-- €/a
Bedienung Heizzentrale	50 h/a	x	46,-- €/h =	2.280,-- €/a
Bedienung/Betreuung Wärmenetz	25 h/a	x	46,-- €/h =	1.140,-- €/a
Verwaltung / Abrechnung / Betreuung/Versicherung	5 WE	x	140,-- €/a =	700,-- €/a
Betriebskosten netto				16.005,-- €/a
			rd.	16.000,-- €/a

15.5 Brennstoffkosten

Variante 1: 1 BHKW kleines Gebiet

Gasverbrauch BHKW	752.000 kWh/a x	1,1 Hs/Hi	=	827.200 kWh/a
	827.200 kWh/a x	3,45 ct/kWh	=	28.538,-- €/a
			rund	28.500,-- €/a
Gaskosten Zusatzkessel	105.000 kWh/a :	90 %	=	116.667 kWh/a
	116.667 kWh/a x	1,1 Hs/Hi	=	128.333 kWh/a
	128.333 kWh/a x	4 ct/kwh	=	5.133,-- €/a
			rund	5.100,-- €/a
gesamt:			rund	34.000,-- €/a

Variante 2: 2 BHKW großes Gebiet

Gasverbrauch BHKW	1.152.000 kWh/a x	1,1 Hs/Hi	=	1.267.200 kWh/a
	1.267.200 kWh/a x	3,45 ct/kWh	=	43.718,-- €/a
			rund	43.700,-- €/a
Gaskosten Zusatzkessel	35.000 kWh/a :	90 %	=	38.889 kWh/a
	38.889 kWh/a x	1,1 Hs/Hi	=	42.778 kWh/a
	42.778 kWh/a x	4,00 ct/kwh	=	1.711,-- €/a
			rund	1.700,-- €/a
gesamt:			rund	45.000,-- €/a

Variante 3: Wärmepumpe großes Gebiet

Strom Wärmepumpe	590.000 kWh/a :	2,7 JAZ	=	218.519 kWh/a
	218.519 kWh/a x	21,0 ct/kWh	=	45.889 €/a
			rund	45.900,-- €/a
Heizölkosten Zusatzkessel	165.000 kWh/a :	85 %	=	194.118 kWh/a
	194.118 kWh/a :	10,0 kWh/l	=	19.412 l/a
	19.412 l/a x	55,00 ct/l	=	10.676,-- €/a
				10.676,-- €/a
			rund	10.700,-- €/a
gesamt:			rund	57.000,-- €/a

15.6 Stromerlöse

Variante 1: 1 BHKW kleines Gebiet

Stromerzeugung gesamt 235.000 kWh/a

Stromrückspeisung

Einspeisung ins Netz 235.000 kWh/a

Üblicher Preis 235.000 kWh/a x 4,00 ct/kWh = 9.400,-- €/a

verm. Netzkosten Arbeit 235.000 kWh/a x 0,09 ct/kWh = 212,-- €/a

verm. Netzkosten Leistung 27 kW x 104,61 €/kW*a = 2.806,-- €/a

Summe 12.418,-- €/a

rund 12.000,-- €/a

KWK-Zulage Rückspeisung

Bh = 3.500 h/a

Zulage bis 50 kW Leistung 175.000 kWh/a x 16 ct/kWh = 28.000,-- €/a

175.000 28.000,-- €/a

rund 28.000,-- €/a

gemittelt auf 20 Jahre (inkl. Modernisierung) **24.000 €/a**

Stromerlöse gesamt 36.418,-- €/a

rund 36.000,-- €/a

Variante 2: 2 BHKW großes Gebiet

Stromerzeugung gesamt 360.000 kWh/a

Stromrückspeisung

Einspeisung ins Netz 360.000 kWh/a

Üblicher Preis 360.000 kWh/a x 4,00 ct/kWh = 14.400,-- €/a

verm. Netzkosten Arbeit 360.000 kWh/a x 0,09 ct/kWh = 324,-- €/a

verm. Netzkosten Leistung 41 kW x 104,61 €/kW*a = 4.299,-- €/a

Summe 19.023,-- €/a

rund 19.000,-- €/a

KWK-Zulage Rückspeisung

Bh = 3.500 h/a

Zulage bis 50 kW Leistung 350.000 kWh/a x 16 ct/kWh = 56.000,-- €/a

56.000,-- €/a

rund 56.000,-- €/a

gemittelt auf 20 Jahre (inkl. Modernisierung) 48.000,-- €/a

Stromerlöse gesamt 67.023,-- €/a

rund 67.000,-- €/a