

Stadt Weinstadt
Nahwärmeversorgung Endersbach Mitte

Erweiterung der Nahwärmeversorgung
für Weinstadt

Bietigheim-Bissingen, Juni 2021

Stadt Weinstadt
Nahwärmeversorgung Endersbach Mitte

Auftraggeber: Stadtwerke Weinstadt

Projektnummer: 20053

Dokument: Gutachten_Weinstadt_Endersbach_Mitte_210607

Bietigheim-Bissingen, 07.06.2021



Dipl.-Ing. Wolfgang Schuler



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



i. A. Dipl.-Ing. (FH) Steffen Bühler

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
1.1	Einführung	4
1.2	Ergebnisse.....	5
2	Grundlagen	6
2.1	Untersuchungsgebiet	7
2.2	Kläranlage Weinstadt	9
3	Konzeption Nahwärmeversorgung	14
4	Potenziale der Nahwärmeversorgung	16
5	Anbindung an das bestehende Wärmenetz	18
5.1	Mögliche Leitungsführung	18
5.2	Netzdaten	19
6	Energiebilanz	20
7	Technische Realisierung	21
7.1	Heizzentrale.....	21
7.2	Wärmenetz/Anbindungsleitung	27
8	Förderung	28
9	Investitionskosten	30
10	Wirtschaftlichkeit	33
10.1	Grundlagen.....	33
10.2	Energiepreise	34
10.3	Wärmeerzeugungskosten	35
11	Umweltbilanz	36
11.1	Energiebilanz.....	36
11.2	Emissionsbilanz Treibhausgase.....	36
12	Anhang	39
12.1	Blockheizkraftwerke	39
12.2	Wärmepumpen.....	43
12.3	Holzheizungen.....	44
12.4	Nahwärmeversorgung	47

1 Zusammenfassung

1.1 Einführung

Über das KfW-Programm „Energetische Stadtsanierung“ soll für das Gebiet Endersbach Mitte 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 für das Gebiet Endersbach Mitte.

Die Gebäude im Untersuchungsgebiet wurden größtenteils zwischen 1960 und 1980 gebaut. Im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes befinden sich Gebäude neueren Baualters. Die Gebäudegröße reicht von Einfamilienhäusern bis zu großen Wohnblöcken. Zusätzlich zu dem Wohngebiet ist die städtische Kläranlage in die Untersuchung einbezogen. Die Beheizung der Gebäude erfolgt mittels Heizöl-, Erdgas- und Stromheizungen. Teilweise werden auch Scheitholz und Pellets als Brennstoff eingesetzt. Auf der Kläranlage wird das anfallende Klärgas zur Beheizung und Stromerzeugung verwendet.

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 des Gebietes Endersbach Mitte in Weinstadt bezüglich Technik, Wirtschaftlichkeit und Umweltbilanz betrachtet.

Die wesentlichen Ergebnisse sind:

- Der Aufbau einer Wärmeerzeugung auf Basis von Abwasserwärmenutzung auf der Kläranlage Weinstadt ist technisch und wirtschaftlich umsetzbar. Hierfür würden 2 Wärmepumpen mit jeweils 750 kW Heizleistung auf dem nördlichen Betriebsgelände der Kläranlage in einer Heizzentrale installiert (Variante 1). Auf dem südlichen Gelände würde zusätzlich ein BHKW mit 50 kW elektrischer und 100 kW thermischer Leistung zur Restklärgasnutzung installiert. Insgesamt könnten so bei 5.000 Vollbenutzungsstunden der Wärmepumpen 7.690.000 kWh/a Wärme erzeugt und mittels einer Wärmeleitung von rund 720 m ins bestehende Weinstädter Wärmenetz eingespeist werden.
- Alternativ könnte auf dem angrenzenden Häckselplatz eine Holzheizzentrale mit Holzheizung und Abgaskondensation errichtet werden (Variante 2). Bei einer Wärmeleistung des Holzkessels von 2.000 kW und der Abgaskondensation mit Wärmepumpe von 400 kW wäre bei 4.000 Vollbenutzungsstunden eine Wärmeerzeugung von 9.600.000 kWh/a möglich. Diese Wärme würde über eine rund 560 m lange Wärmeleitung ins bestehende Wärmenetz eingespeist werden.
- Die Investitionskosten beider Wärmeerzeugungen unterscheiden sich nur gering. Diese belaufen sich bei der Variante 1 auf 4.290.000,-- € und bei der Variante 2 auf 4.110.000,-- €. Bei Inkrafttreten des Bundesförderprogrammes für effiziente Wärmenetze (BEW) könnte die Variante 1 mit rund 1.650.000,-- € gefördert werden. Zusätzlich gäbe es für die ersten 10 Betriebsjahre eine Betriebsprämie in Höhe von rund 450.000,-- €/a. Bei Variante 2 würde die Investitionsförderung rund 1.600.000,-- € betragen. Zusätzlich wäre eine Betriebsprämie für die ersten 10 Jahre in Höhe von 80.000,-- €/a möglich. Die Netto-Wärmeerzeugungspreise belaufen sich in den ersten 10 Betriebsjahren auf 3,1 ct/kWh (Variante 1) bzw. 4,5 ct/kWh (Variante 2). Für die folgenden 10 Betriebsjahre belaufen sich die Wärmeerzeugungskosten auf 9,0 ct/kWh (Variante 1) bzw. 5,3 ct/kWh (Variante 2). Im Mittel ergeben sich über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren Wärmeerzeugungspreise in Höhe von 6,1 ct/kWh für Variante 1 und 4,9 ct/kWh für Variante 2.
- Durch die Wärmeerzeugung mittels Abwasserwärme (Variante 1) können im Vergleich zu den Bestandsheizanlagen jährlich rund 1.059 Tonnen CO₂ eingespart werden. Dies entspricht einer Reduzierung des CO₂-Ausstoßes von 44 %. Wird eine Holzheizung zur Wärmeerzeugung eingesetzt (Variante 2), können im Vergleich zu den Bestandsheizanlagen jährlich rund 2.515 Tonnen CO₂ eingespart werden. Dies entspricht wiederum einer Einsparung von 83 % gegenüber den aktuellen Heizungssystemen.
- Die betrachteten Wärmeerzeugungen bieten den Stadtwerken Weinstadt zukünftig die Möglichkeit, die in den aktuellen Förderprogrammen benötigten Anteile erneuerbarer Energien zu realisieren und den Anteil an fossiler Energieerzeugung für das Nahwärmenetz prozentual zu reduzieren.

2 Grundlagen

Die Stadtwerke Weinstadt beabsichtigen, die Wärmeversorgung im Bereich Endersbach auszubauen. Da die bisherigen Energieerzeugungen zukünftig an ihre Grenzen kommen werden, werden jetzt schon Lösungen für zukunftsfähige Wärmeerzeugungen gesucht. Zudem soll der Anteil an erneuerbarer Energie im Wärmenetz gesteigert werden.

Als zentraler Standort für eine Erweiterung der Energieerzeugung bietet sich das Gelände der städtischen Kläranlage an. Hier ist sowohl Platz als auch eine mögliche Energiequelle in Form von Abwasserwärme sowie Restenergiemengen vorhanden. Alternativ gibt es südlich der Kläranlage einen Häckselplatz, welcher als Standort infrage käme.

Die Nutzung der Bestandsgebäude im Gebiet Endersbach Mitte ist sehr heterogen. Es befinden sich hier neben Wohngebäuden, öffentlichen Gebäuden und Gebäuden mit Mischnutzung auch viele gewerblich genutzte Gebäude. Die Wärmeerzeugung erfolgt größtenteils mittels Heizöl-, Erdgas- und Stromheizungen.

Zur Erweiterung der Wärmeerzeugung für die Weinstädter Nahwärmeversorgung wurden zwei Varianten untersucht. Zum einen soll die Abwasserwärme und die überschüssigen Energiepotenziale auf der Kläranlage Weinstadt genutzt werden. Zum anderen soll eine große Holzheizung mit Abgaskondensation die Wärmeerzeugung ergänzen.

Es werden folgende Varianten betrachtet:

Variante 1: Abwasserwärmenutzung am Standort Kläranlage

- Anschluss an das bestehende Nahwärmenetz
- Bau von zwei Energiezentralen
- Wärmeversorgung mittels 2 Wärmepumpen mit jeweils 750 kW Heizleistung, 1 BHKW mit 50 kWel. Leistung zur Nutzung der Restgasmengen sowie Einbeziehung der Restwärme der Bestands-BHKW

Variante 2: Holzheizzentrale am Standort Häckselplatz

- Anschluss an das bestehende Nahwärmenetz
- Bau einer Heizzentrale
- Energieversorgung mittels 2.000 kW Holzheizung mit 400 kW Wärmepumpe zur Abgaskondensation

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

Das Wohn- und Mischgebiet Endersbach Mitte umfasst sowohl Wohngebäude unterschiedlicher Größe und Baualter als auch unterschiedlich gewerblich genutzte Gebäude. Es beinhaltet das Zentrum von Endersbach sowie verschiedene öffentliche Gebäude, unter anderem die Silcherschule.

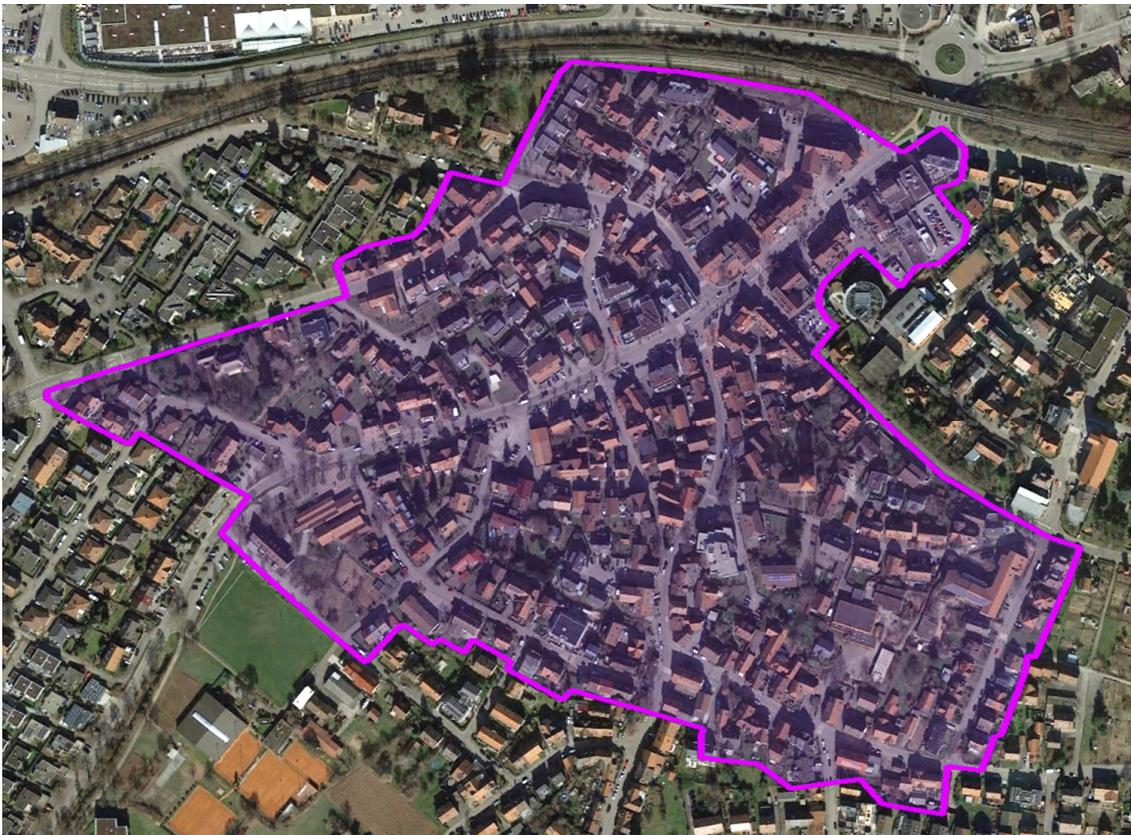


Abb. 2: Wohn- und Mischgebiet Endersbach Mitte (Quelle: Google Earth)

Als Ausgangspunkt für eine Erweiterung der Wärmeerzeugung wurde die städtische Kläranlage mit in das Untersuchungsgebiet aufgenommen. Hier gibt es räumliche Möglichkeiten für den Bau einer Heizzentrale und es gibt ungenutzte Energiemengen in Form von Abwasserwärme, aber auch Restgasmengen der Klärgaserzeugung und überschüssige Wärmeproduktion.

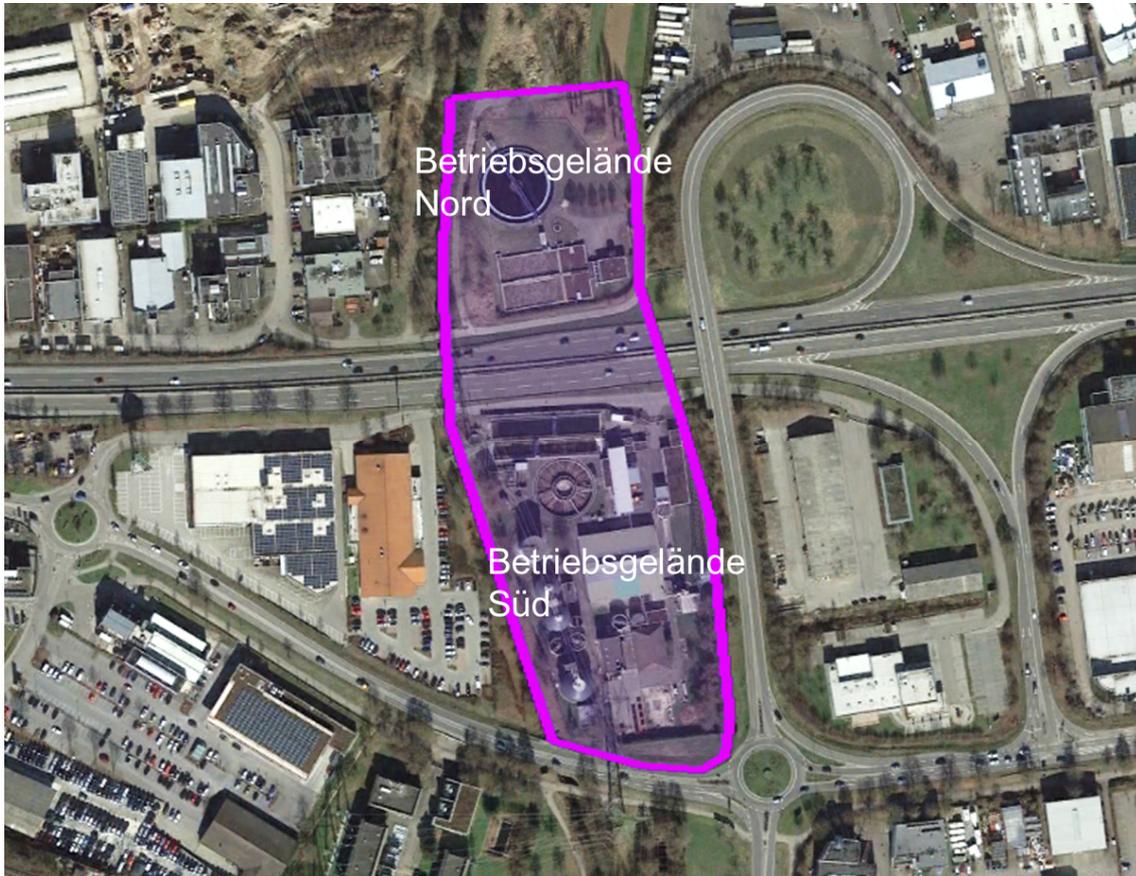


Abb. 3: Kläranlage Stadt Weinstadt (Quelle Google Earth)

2.2 Kläranlage Weinstadt

Die Kläranlage Weinstadt liegt direkt an der B 29 im Stadtteil Endersbach. Sie ist in zwei Teile nördlich und südlich der Bundesstraße aufgeteilt. Die Abwässer der einzelnen Stadtteile werden hier zentral gereinigt, bevor sie in die Rems eingeleitet werden.

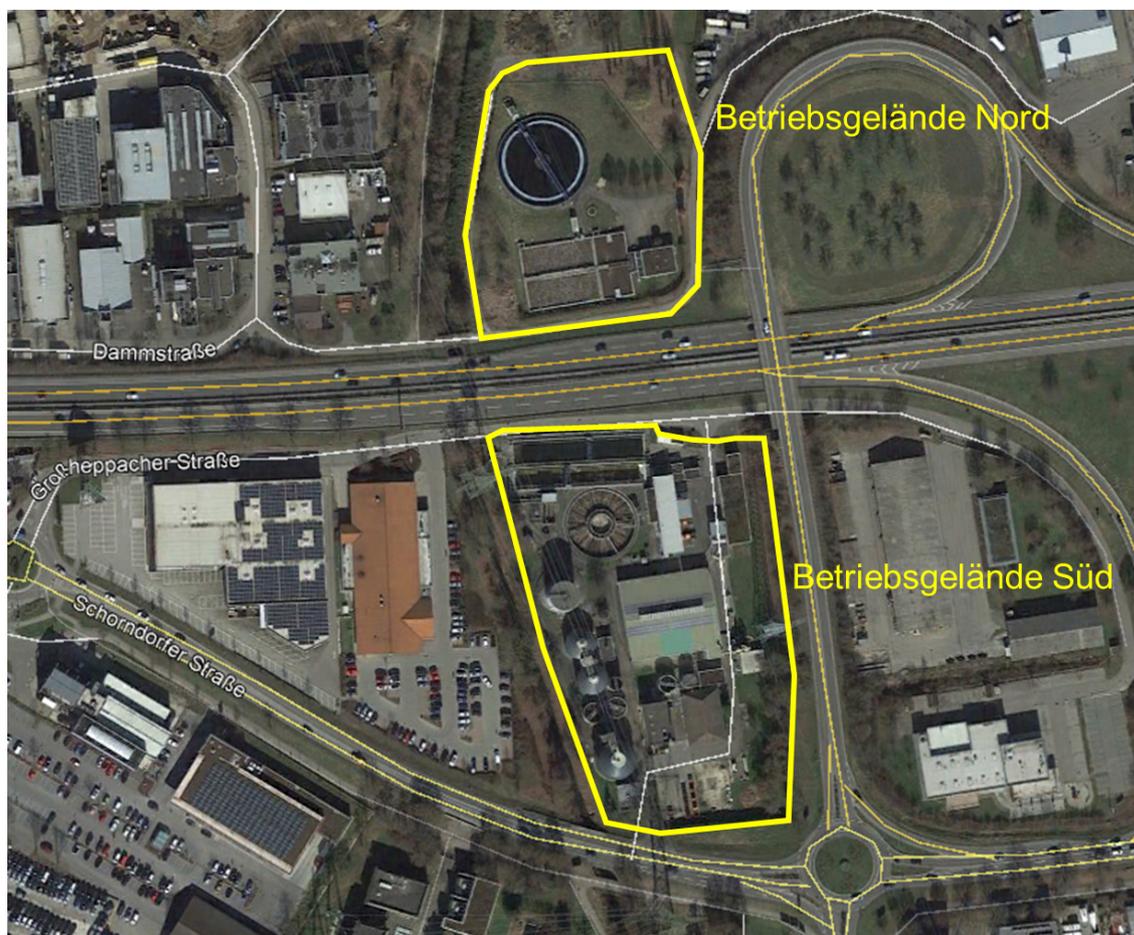


Abb. 4: Lage Kläranlage Weinstadt (Quelle Google Earth)

Das Abwasser durchläuft die mechanischen und biologischen Reinigungsstufen. Auf dem südlichen Gelände sind alle Behandlungsstufen vorhanden. Auf dem nördlichen Teil sind ein Belebungsbecken und ein Nachklärbecken vorhanden, über welche rund zwei Drittel des Abwasservolumenstroms behandelt werden. Das gereinigte Abwasser aus den beiden Nachklärbecken wird im nordwestlichen Bereich des nördlichen Teils zusammengeführt und über einen gemeinsamen Kanal in die nördlich verlaufende Rems abgeleitet.

Die Kläranlage verfügt zur Klärschlammstabilisierung über zwei Faultürme unterschiedlicher Größe. Das dort gewonnene Klärgas wird von mehreren Energieerzeugern verwertet, welche in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt werden.

	BHKW 1	BHKW 2	Kessel
Baujahr	1994	1997	1998
Leistung	50 kW _{el} /85 kW _{th}	80 kW _{el} /140 kW _{th}	240 kW
Brennstoff	Klärgas	Klärgas	Klärgas/Heizöl



Abb. 5: Klärgas-Blockheizkraftwerke

Die erzeugte Wärme wird zur Beheizung der Betriebsgebäude und der Faultürme verwendet. Zur Spitzenlastabdeckung ist der Heizkessel vorhanden. Der erzeugte Strom wird selbst verbraucht und dient der Absenkung des Strombezugs der Kläranlage.

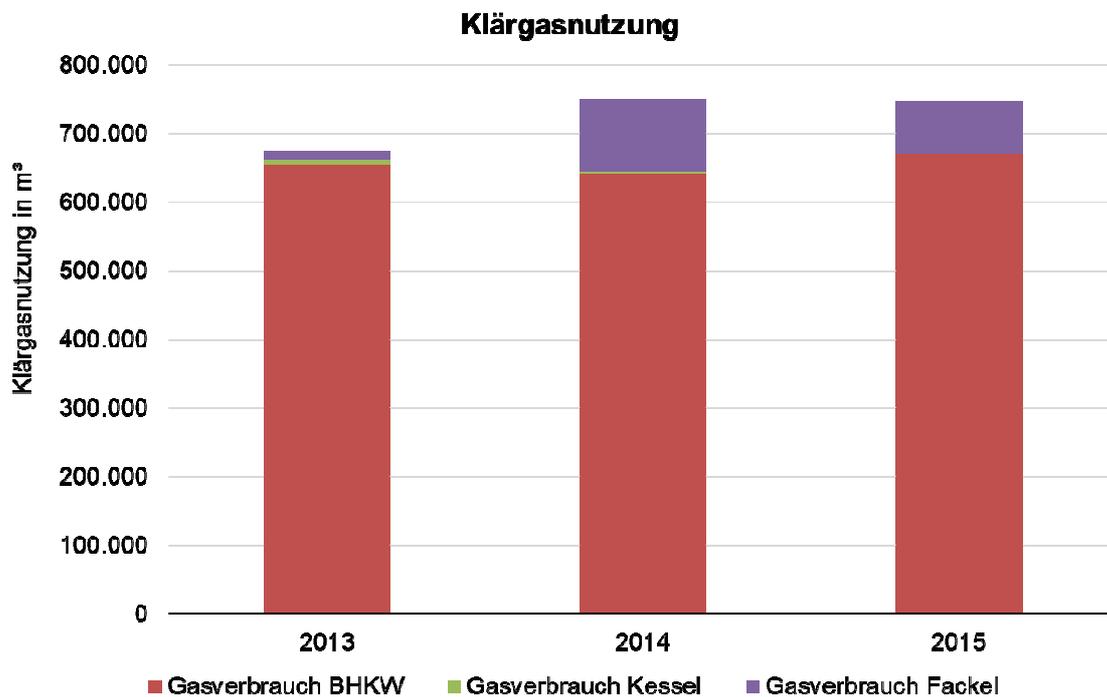


Abb. 6: Klärgasnutzung Kläranlage Weinstadt

Die mittlere Gasproduktion der Kläranlage liegt bei jährlich rund 720.000 m³. Bei einem Heizwert von 5 kWh pro m³ Klärgas entspricht dies rund 3.600.000 kWh pro Jahr. Davon werden rund 91 % von den Blockheizkraftwerken verwertet und rund 1 % vom Heizkessel. Die restlichen 8 % werden über eine Gasfackel verbrannt.

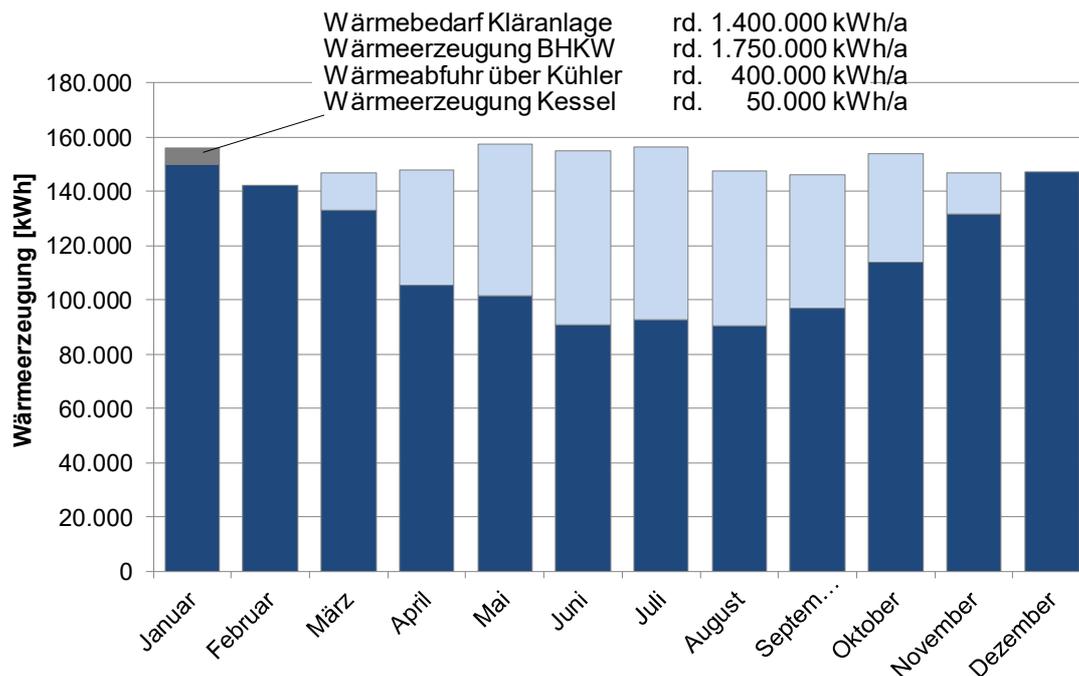


Abb. 7: Wärmeverbrauch und Wärmeerzeugung Kläranlage

Die Kläranlage Weinstadt benötigt jährlich rund 1.400.000 kWh Wärme für die Beheizung der Faultürme und der Betriebsgebäude. Die vorhandenen Blockheizkraftwerke erzeugen rund 1.750.000 kWh/a. Davon werden jährlich rund 400.000 kWh über die Rückkühler an die Umwelt abgegeben. Die vorhandenen Heizkessel erzeugen jährlich rund 50.000 kWh Wärme.

Jahr	2017	2018	2019	Mittelwert
	kWh	kWh	kWh	kWh
Stromverbrauch	2.034.232	1.908.260	1.734.394	1.892.000
Stromerzeugung BHKW	1.061.997	1.038.334	977.829	1.026.000
Strombezug	972.235	869.926	756.565	866.000

Der jährliche Stromverbrauch der Kläranlage beläuft sich im Mittel auf rund 1.892.000 kWh. Die Blockheizkraftwerke decken davon rund 1.026.000 kWh, der Reststrombezug beläuft sich auf rund 866.000 kWh pro Jahr.

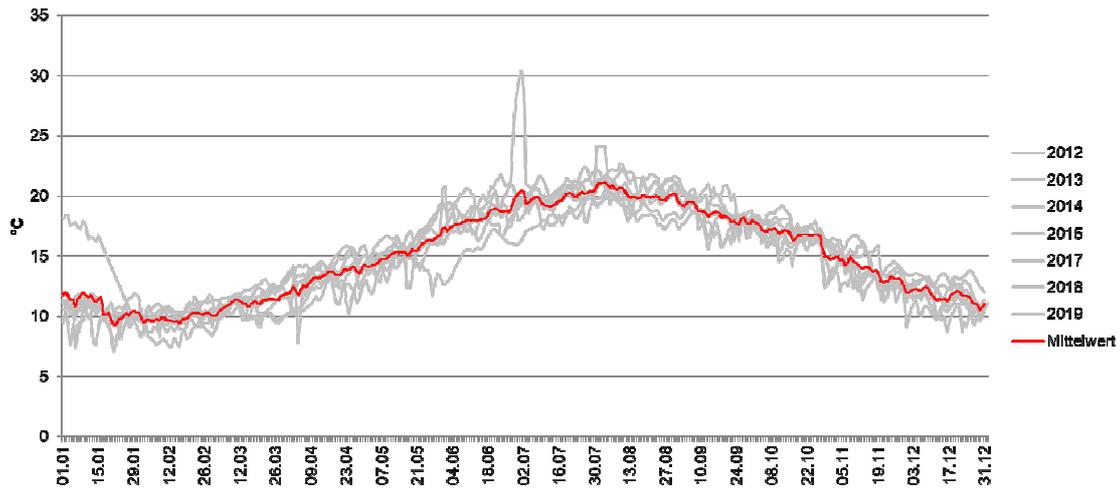


Abb. 8: Ablauftemperaturen Nachklärbecken

Nachklärbecken	2017	2018	2019
Jahresdurchschnitt	15,4	15,5	15,3
Minimum	7,0	8,5	8,9
Heizperiodenmittel Oktober bis April	12,8	12,5	12,4

Die Ablauftemperaturen der Kläranlage Weinstadt betragen im Mittel rund 15 °C. Die Temperaturen sinken nur selten unter 10 °C, wobei Minimalwerte von 7 - 9 °C erreicht werden. Die mittlere Temperatur während der Heizperiode von Oktober bis April liegt bei rund 12,5 °C.

Abflussmengen Kläranlage

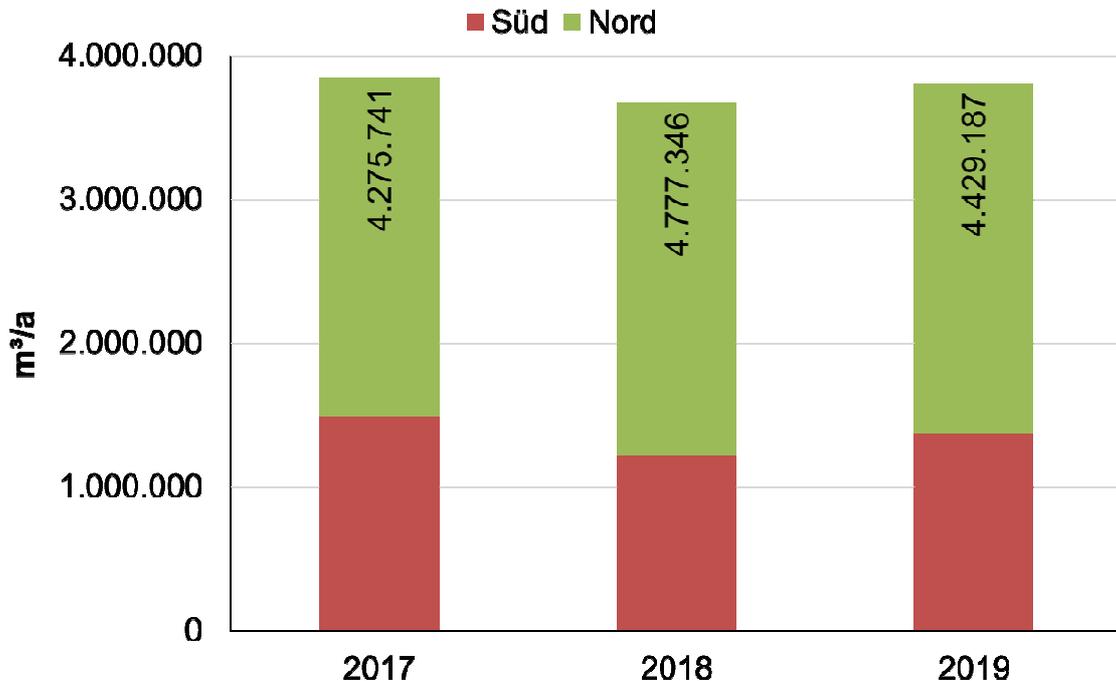


Abb. 9: Ablaufwassermengen Nachklärbecken Süd und Nord

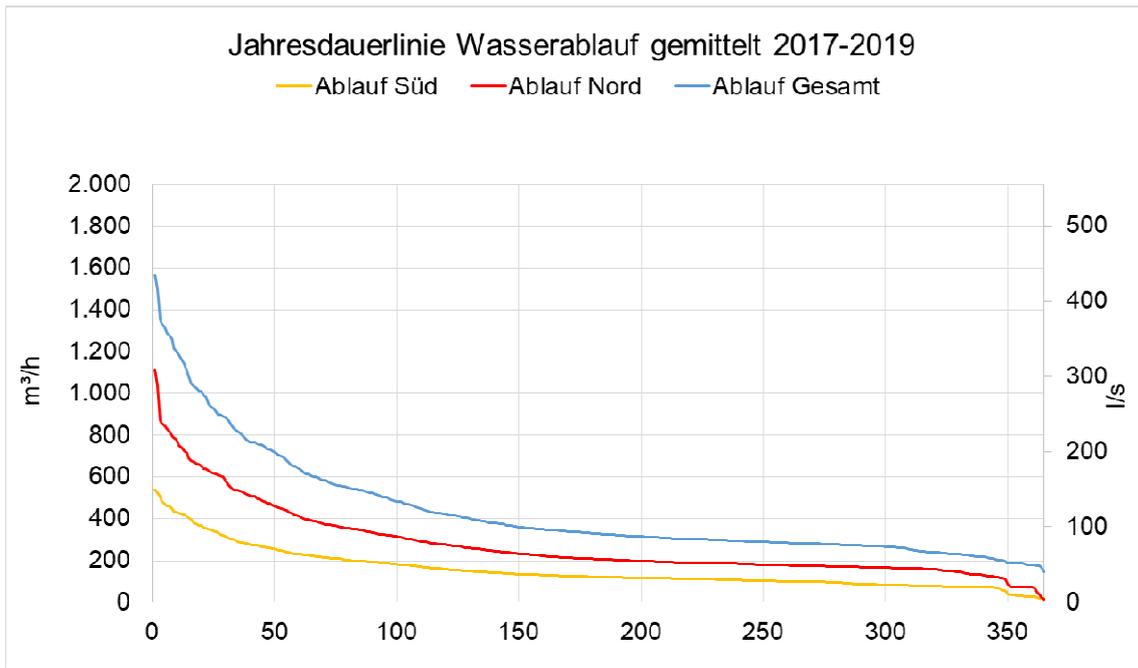


Abb. 10: Jahresdauerlinie gemittelt der Jahre 2017 - 2019

Die jährliche Abflussmenge der beiden Abflüsse beträgt im Mittel rund 4.494.000 m³/a, was einem mittleren Abflusswert von rund 513 m³/h entspricht. 200 m³/h werden so gut wie nie unterschritten. An rund 130 Tagen im Jahr beträgt der Abfluss mehr als 400 m³/h.

Wärmpotenzial aus Abwasser

Da das ablaufende, gereinigte Abwasser nicht mehr die Mindesttemperaturen für die Reinigungsprozesse des Klärbetriebs einhalten muss, ist eine hohe Abkühlung des Abwassers möglich. In folgender Tabelle sind die möglichen Heizleistungen von Wärmepumpen in Abhängigkeit von Jahresarbeitszahl und Abkühlung des Abwasserstroms dargestellt.

		Abkühlung Quelle				
Wassermenge	JAZ	2 K	3 K	4 K	5 K	6 K
200 m ³ /h	3	698 kW	1.047 kW	1.396 kW	1.745 kW	2.093 kW
400 m ³ /h	3	1.396 kW	2.093 kW	2.791 kW	3.489 kW	4.187 kW

3 Konzeption Nahwärmeversorgung

Wärmeversorgung Endersbach Mitte sowie Dekarbonisierung der Bestandsnetze

In Weinstadt werden von den Stadtwerken aktuell zwei getrennte Nahwärmenetze betrieben. Das erste ist im Bereich Benzach angesiedelt, das zweite im Bereich Endersbach West. Zukünftig sollen beide Netze verbunden und möglichst viele weitere Gebiete und Kunden erschlossen werden.



Abb. 11: Bestandsplan der Weinstädter Nahwärmeversorgung

Die aktuelle Wärmeversorgung wird zum Großteil aus Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellt. Zukünftig soll die Wärmeerzeugung vergrößert werden. Hierbei liegt der Fokus auf einer Steigerung des regenerativen Anteils.

Die jährliche Wärmeerzeugung für die beiden Wärmenetze liegt aktuell bei rund 8.500.000 kWh/a.

Bei Variante 1 soll die Abwärme aus dem geklärten Abwasser der Kläranlage Weinstadt genutzt werden, um mithilfe von Wärmepumpen die künftig benötigte Wärme bereitzustellen. Hierbei wird neben dem Ablauf der Kläranlage auf dem nördlichen Betriebsgelände ein Entnahmebauwerk und eine Heizzentrale errichtet. Diese Heizzentrale wird über eine Wärmeleitung und einer Stromanbindung mit dem südlichen Standort verbunden. Um das restliche, ungenutzte Klärgas sinnvoll zu verwenden, wird ein Blockheizkraftwerk auf dem südlichen Betriebsgelände installiert. Angedacht ist zudem, die überschüssige Wärme der Kläranlage zu nutzen und ins Wärmenetz einzuspeisen. Dies wird in dieser Betrachtung nicht einbezogen.

Bei Variante 2 wird eine Holzhackschnitzelheizung mit Abgaskondensation auf dem Gelände des aktuellen Häckselplatzes errichtet. Die Holzhackschnitzelfeuerung stellt den Großteil der Wärme bereit. Über eine Rauchgaskondensation werden die Abgase der Holzfeuerung abgekühlt und über eine Wärmepumpe auf ein nutzbares Temperaturniveau gebracht.

Bei beiden Varianten werden für die Heizungstechnik neue Heizzentralen errichtet.

Wärmespeicher werden zur Betriebsoptimierung und Erhöhung der Deckungsanteile eingesetzt.

Von den jeweiligen Heizzentralen wird eine Verbindungsleitung zum Bestandsnetz Benzach verlegt.

Es werden folgende Wärmeerzeugungsanlagen eingesetzt:

Variante 1

Blockheizkraftwerke	1 x 50 kWel. Leistung/100 kW Wärmeleistung
elektrische Wärmepumpen	2 x 750 kW Wärmeleistung
Wärmespeicher	200 m ³

Variante 2

Holzheizung mit Rauschgaskondensation	2.000 kW Wärmeleistung
elektrische Wärmepumpe	400 kW Wärmeleistung
Wärmespeicher	2 x 200 m ³

4 Potenziale der Nahwärmeversorgung

Bei den Stadtwerken Weinstadt liegt ein konkreter Ausbauplan der Nahwärmenetze im Bereich Endersbach bis zum Jahr 2030 vor.

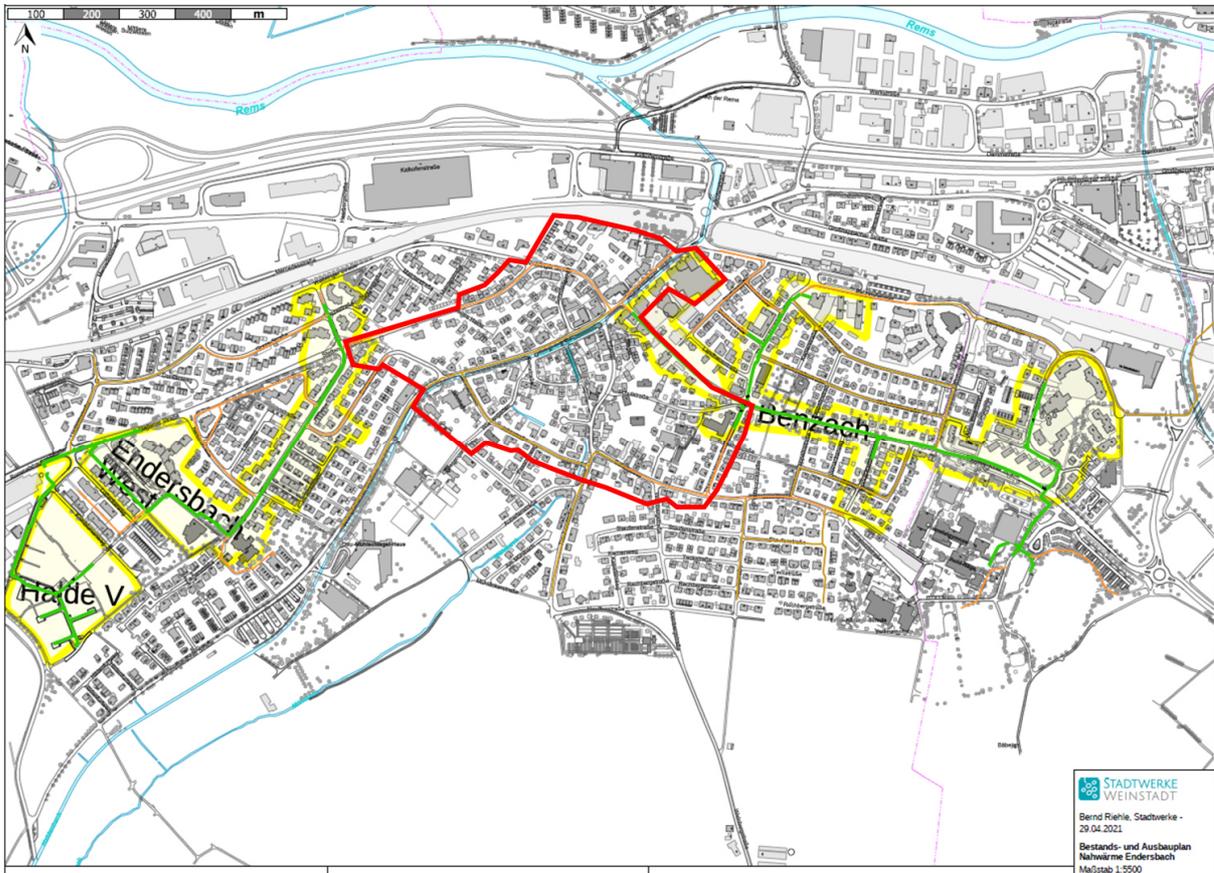


Abb. 12: Bestands- und Ausbauplan Wärmenetze Stadtwerke Weinstadt

Gelb umrandete Gebiete markieren das Einzugsgebiet der aktuellen Nahwärmeversorgung. Grüne Linien kennzeichnen die bestehenden Wärmeleitungen. Die orangenen Linien sind die geplanten Netzerweiterungen der nächsten Jahre. Zusätzlich wurde hier rot umrandet das aktuelle Untersuchungsgebiet dargestellt.

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 an das Netz angeschlossen werden kann, wird für die Ermittlung des Nahwärmepotenzials der Faktor 0,7 für den aktuellen Wärmeverbrauch im Gebiet angesetzt.

Im Untersuchungsgebiet befinden sich aktuell 295 Gebäude, von denen bereits 9 an dem Wärmenetz angeschlossen sind.

Der Wärmeverbrauch der Gebäude im Untersuchungsgebiet beträgt rund 10.500.000 kWh/a. Die bereits an das Wärmenetz angeschlossen Gebäude beziehen rund 500.000 kWh/a Wärme. Somit ergibt sich eine Restwärmemenge von 10.000.000 kWh/a. Daraus errechnet sich folgendes Restpotenzial für den Wärmenetzausbau für das Quartier Endersbach Mitte:

$$10.000.000 \text{ kWh/a} \times 0,7 =$$

$$7.000.000 \text{ kWh/a}$$

Entlang der von den Stadtwerken Weinstadt geplanten Netzerweiterungen bis 2030 liegen 156 der 295 Gebäude aus dem Quartier. Das Potenzial dieser Gebäude liegt bei rund 4.300.000 kWh/a Wärmeverkauf. Die angedachten Versorgungsbereiche im Quartier sind in folgender Grafik grün umrandet dargestellt.



Abb. 13: Übersichtsplan mit Quartiersabgrenzung, Ausbauplan und Versorgungs-bereiche bis 2030 (Quelle: Google Earth)

5 Anbindung an das bestehende Wärmenetz

Von den beiden Heizzentralenstandorten Kläranlage und Häckselplatz wird eine Verbindungsleitung zum Bestandsnetz in Benzach verlegt.

5.1 Mögliche Leitungsführung

Variante 1: Verlegung von der Kläranlage bis zum Bestandsnetz



Abb. 14: mögliche Leitungsführung von der Kläranlage bis zum Bestandsnetz (Quelle: Google Earth)

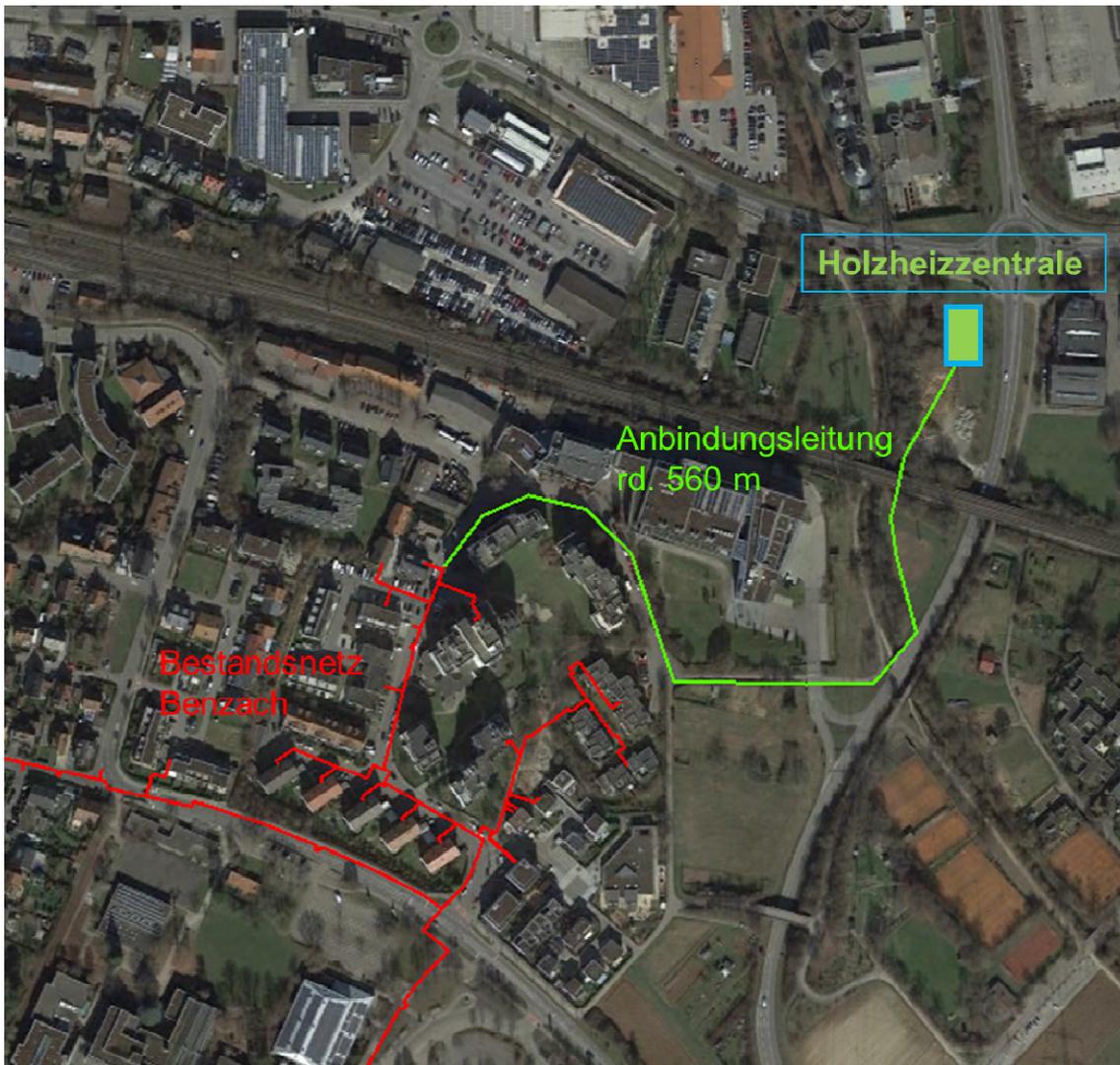


Abb. 15: mögliche Leitungsführung vom Häckselplatz bis Bestandsnetz
(Quelle: Google Earth)

5.2 Netzdaten

Wärmenetz Variante 1

Verbindungsleitung Betriebsgelände Nord/Süd	rund 320 m
Anbindungsleitung	rund 720 m

Wärmenetz Variante 2

Anbindungsleitung	rund 560 m
-------------------	------------

Erweiterungen des bestehenden Wärmenetzes werden nach Abnahme- und Interessenschwerpunkten unabhängig vom Quartiersgebiet umgesetzt. Ziel ist, einen möglichst großen Teil des Endersbacher Stadtteils mit Nahwärme zu versorgen. Auch eine Erweiterung in Richtung Beutelsbach ist vorgesehen.

6 Energiebilanz

Erzeugungsszenarien

Für die Erweiterung der Wärmeerzeugung wurden für die jeweiligen Varianten und Wärmeerzeuger Vollbenutzungsstunden festgelegt. Die Laufzeit des Blockheizkraftwerks in Variante 1 wird von der Restgasmenge der Kläranlage bestimmt. Das Erreichen der dargestellten Wärmemengen wird mit sukzessivem Ausbau des Wärmenetzes angestrebt.

Variante 1

Wärmeerzeugung

Wärmepumpen	$5.000 \text{ h/a} \times 1.500 \text{ kW} =$	7.500.000 kWh/a
Blockheizkraftwerk	$1.900 \text{ h/a} \times 100 \text{ kW} =$	190.000 kWh/a
Summe Wärmeerzeugung Variante 1		7.690.000 kWh/a

Brennstoffbilanz

Klärgas-BHKW	$1 \times 160 \text{ kW} \times 1.900 \text{ h/a} =$	304.000 kWh/a
--------------	--	---------------

Strombilanz

Stromerzeugung BHKW	$1 \times 50 \text{ kW} \times 1.900 \text{ h/a} =$	95.000 kWh/a
Stromverbrauch Heizzentrale		25.000 kWh/a
Stromverbrauch Wärmepumpen	$7.500.000 \text{ kWh/a} : 3 \text{ (JAZ)} =$	2.500.000 kWh/a
Strombezug Heizzentrale		2.525.000 kWh/a
Stromrücklieferung		95.000 kWh/a

Variante 2

Wärmeerzeugung

Holzheizung	$4.000 \text{ h/a} \times 2.000 \text{ kW} =$	8.000.000 kWh/a
Wärmepumpe	$4.000 \text{ h/a} \times 400 \text{ kW} =$	1.600.000 kWh/a
Summe Wärmeverbrauch Variante 2		9.600.000 kWh/a

Brennstoffbilanz

Hackschnitzelheizung	$4.000 \text{ h/a} \times 2.000 \text{ kW} : 80 \% =$	10.000.000 kWh/a
Anlieferungen	$10.000.000 \text{ kWh/a} : 700 \text{ kWh/Sm}^3 =$	14.286 Sm ³ /a
	$14.286 \text{ Sm}^3/\text{a} : 80 \text{ Sm}^3 =$	179

Strombilanz

Stromverbrauch Heizzentrale		144.000 kWh/a
Stromverbrauch Wärmepumpen	$1.600.000 \text{ kWh/a} : 4 \text{ (JAZ)} =$	400.000 kWh/a
Strombezug Heizzentrale		544.000 kWh/a

7 Technische Realisierung

7.1 Heizzentrale

7.1.1 Standorte

Variante 1 Kläranlage

Da die Kläranlage in 2 Betriebsbereiche aufgeteilt ist und sich der gemeinsame Ablauf im Bereich des Betriebsgeländes Nord befindet, ist eine Verbindung der beiden Bereiche mit Wärmeleitungen und Stromleitungen nötig.

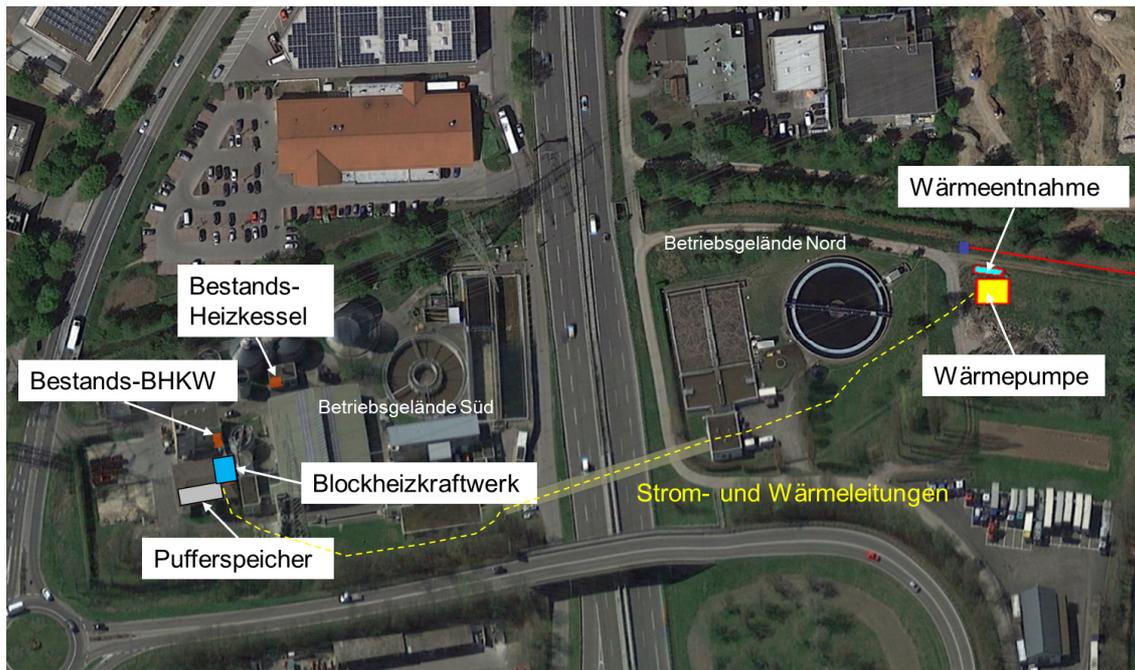


Abb. 16: Standorte Heizzentralen Kläranlage mit Verbindungsleitung
(Quelle: Google Earth)

Variante 2 Häckselplatz

Der Häckselplatz, welcher als Standort für eine Holzheizzentrale vorgesehen ist, befindet sich südlich der Weinstädter Kläranlage auf der anderen Seite der Schorndorfer Straße.



Abb. 17: Standort Häckselplatz (Quelle: Google Earth)

Konzeption Heizzentrale

Für die Wärmeerzeugung müssen neue Heizzentralen gebaut werden.

Heizzentralen Variante 1 mit Wärmepumpen und Blockheizkraftwerk

Da die Betriebsgelände und Anlagen der Kläranlage räumlich getrennt sind, werden hier 2 Heizzentralen errichtet. Im nördlichen Bereich erfolgt die Entnahme der Wärme des Abwassers mittels Abwasserwärmetauschern. Diese werden in separaten Bauwerken neben dem Kanal errichtet. Angrenzend wird eine Heizzentrale für die Wärmepumpen errichtet. Diese verfügt zusätzlich über Reserveflächen für weitere Wärmepumpen oder alternative Technik.

Im südlichen Betriebsbereich werden ein Blockheizkraftwerk und die nötige Heizungstechnik sowie der Wärmespeicher installiert. Hierfür wird eine neue Heizzentrale errichtet.

Die beiden Heizzentralen werden mit Strom-, Steuerungs- und Wärmeleitungen verbunden.

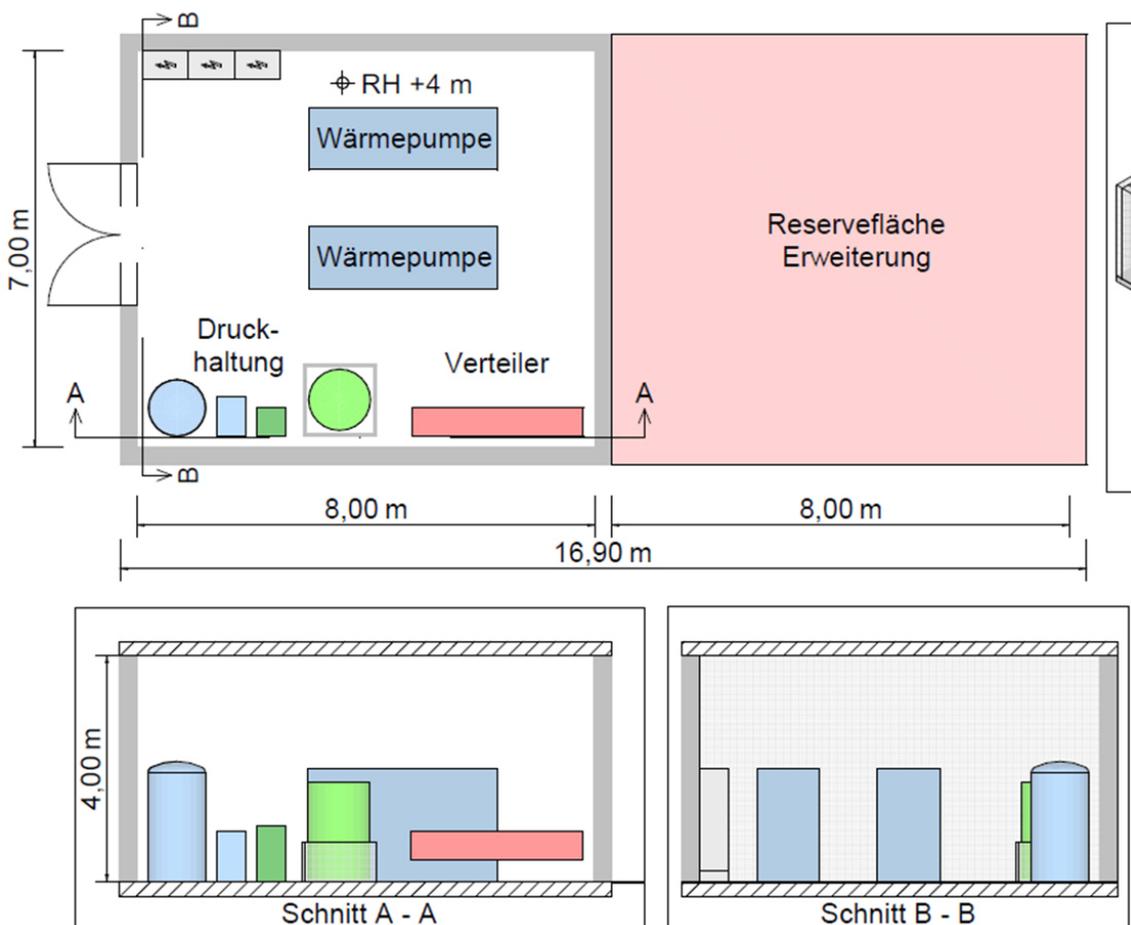


Abb. 18: Aufstellungsplan Wärmepumpenzentrale Betriebsgelände Nord

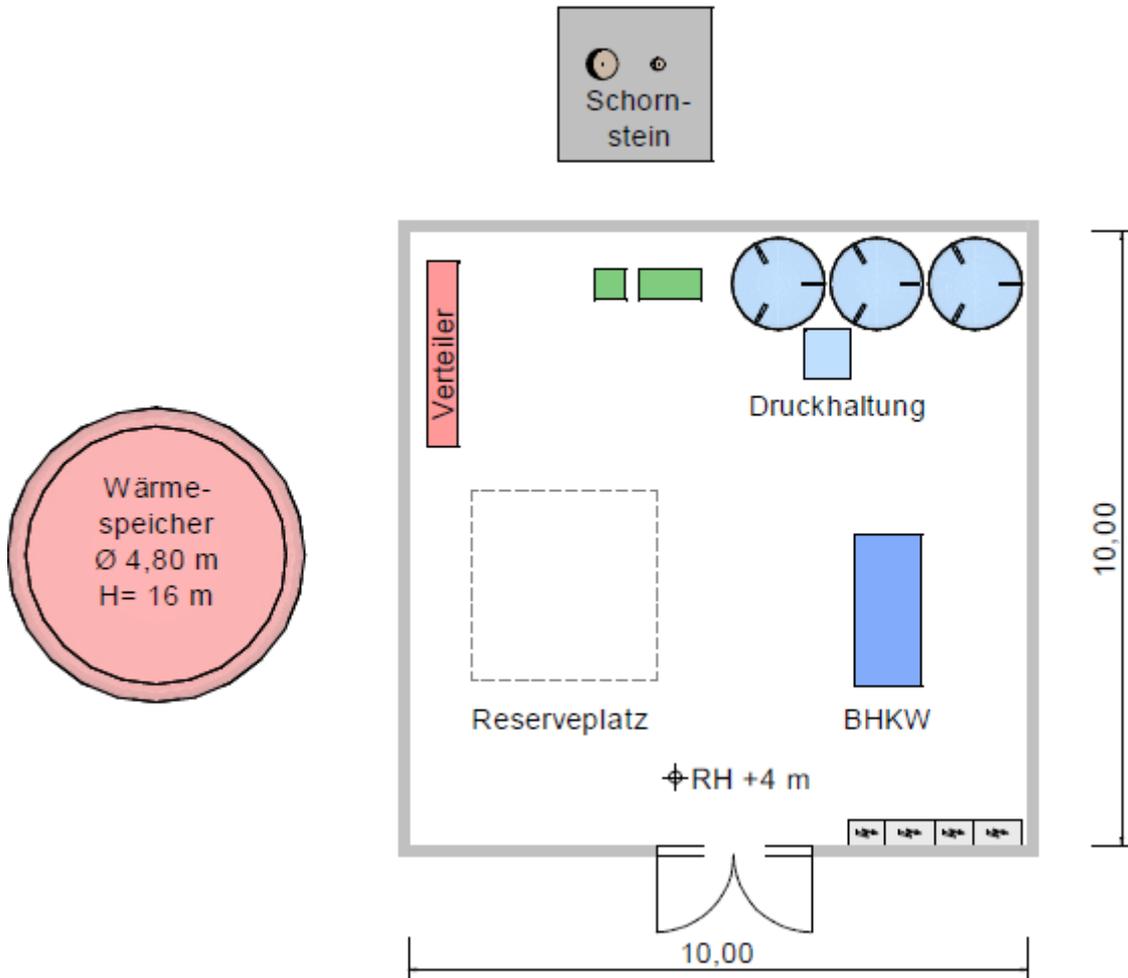


Abb. 19: beispielhafter Aufstellungsplan Technikzentrale Betriebsgelände Süd

Heizzentrale Variante 2 Holzheizung mit Kondensation

Südlich der Kläranlage befindet sich der Häckselplatz, welcher als Standort für eine Holzheizzentrale angedacht ist. Hier kann eine Holzheizzentrale errichtet werden.

Im Gebäude werden die Wärmeerzeugungsanlagen errichtet. Zusätzlich wird ein befahrbarer Schubboden installiert. Die Wärmespeicher werden im Außenbereich aufgestellt.

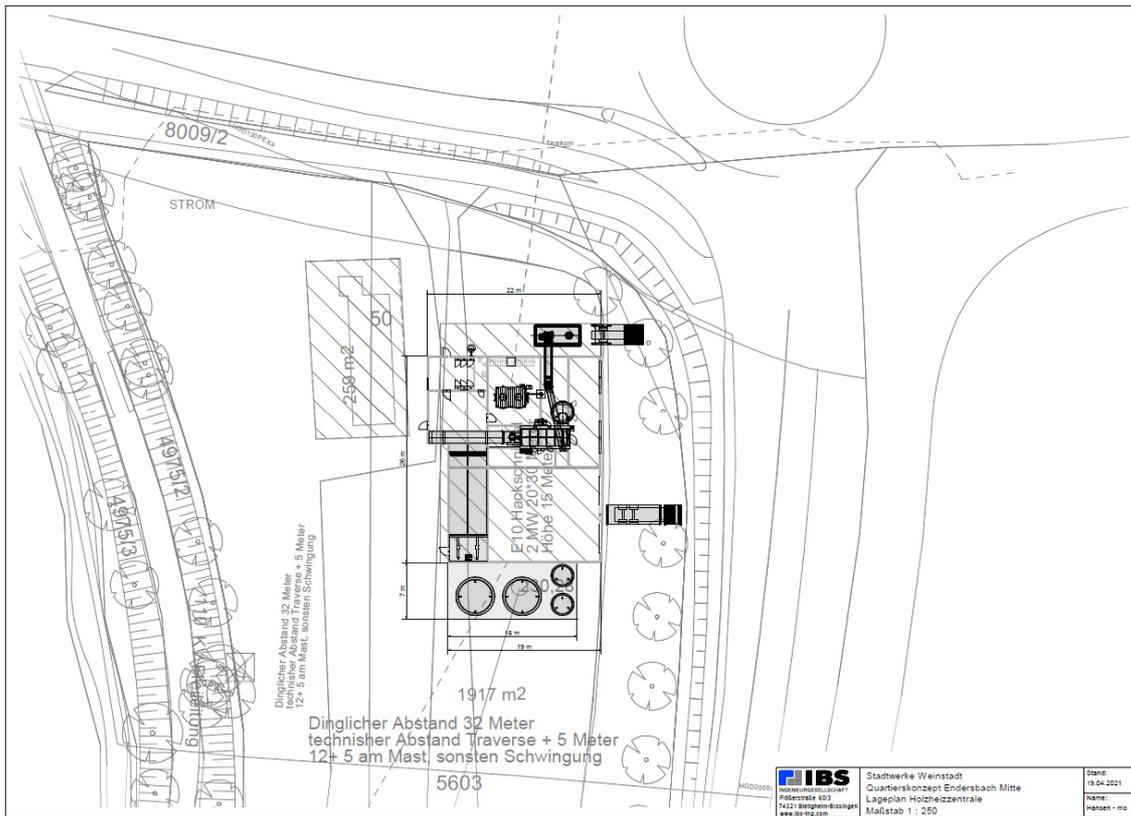


Abb. 20: Übersichtsplan Holzheizzentrale

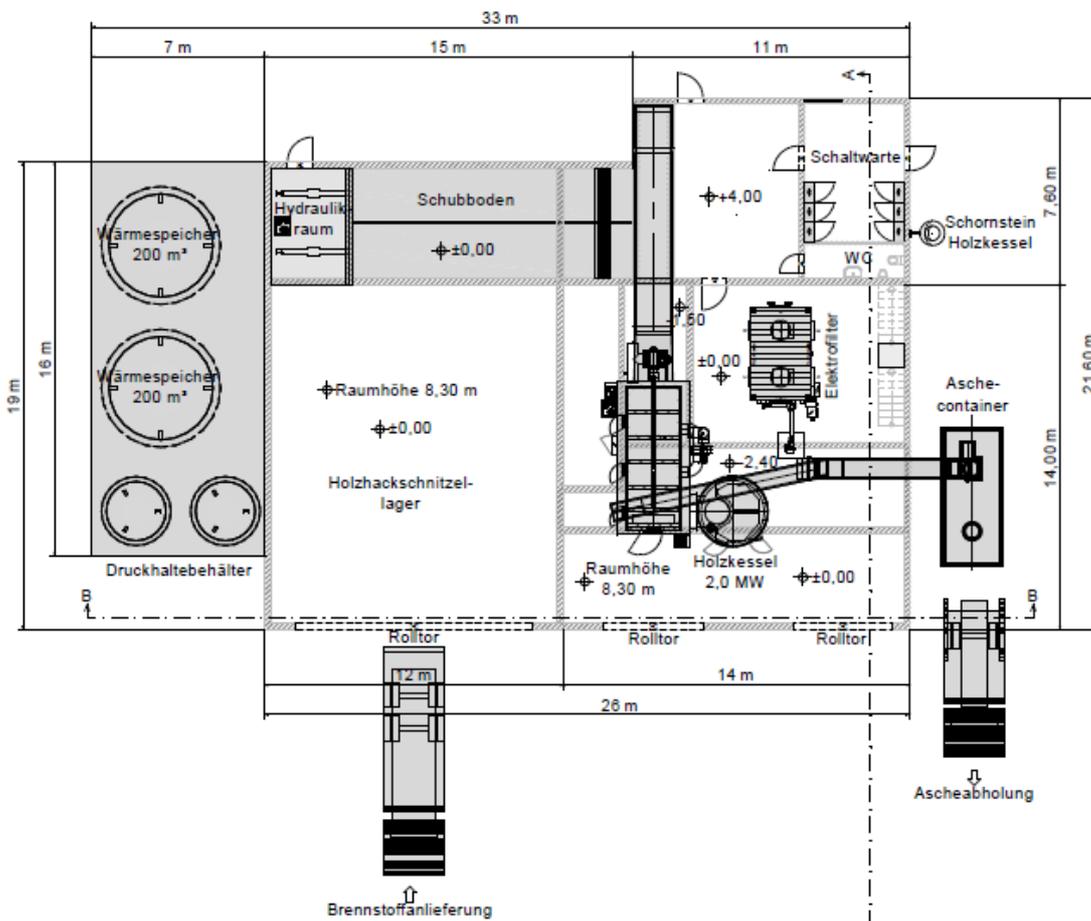


Abb. 21: Aufstellungsplan Holzheizzentrale

Wärmeentnahme Abwasser

Das gereinigte Abwasser der Kläranlage wird nach den Klärprozessen im Ablauf der Kläranlage nach Zusammenfluss der nördlichen und südlichen Abflüsse entnommen. Dadurch werden negative Einflüsse auf die Biologie der Kläranlage durch Abkühlung des Abwassers vermieden und die Schmutzfracht an den Wärmetauschern verringert. Hierfür werden Betonbecken gebaut, Wärmetauscher integriert und der Abwasserstrom über diese umgeleitet.



Abb. 22: Beispiel Wärmeentnahme Abwasser (Quelle: Huber SE)

Brennstoff

Das BHKW auf der Kläranlage wird mit überschüssigem Klärgas von der Kläranlage betrieben. Dieses wird aktuell noch über eine Gasfackel verbrannt. Über eine weitere Gasleitung wird bei Gasüberschuss das BHKW mit Klärgas beliefert und betrieben. Der Strom für die Wärmepumpen wird aus dem örtlichen Stromnetz bezogen.

Für die Holzheizung muss der Brennstoff mit LKW angeliefert werden. Bei einem durchschnittlichen Jahresverbrauch von etwa 14.280 Schüttraummeter ergeben sich bei Anlieferungen von jeweils 80 m³ rund 180 Anlieferungen pro Jahr.

Bei einem Jahresverbrauch von rund 14.280 Schüttraummeter Hackschnitzel ergibt sich bei einem Aschegehalt von 2,5 % bezogen auf das Trockengewicht (ca. 175 kg/Sm³) ein jährlicher Ascheanfall von rund 63 Tonnen. Die Asche wird in einer Abkippmulde gesammelt und mit einem LKW zur Entsorgung abtransportiert.

Wärmespeicher

Die Wärmespeicher werden jeweils im Außenbereich der Heizzentralen stehend oder liegend ausgeführt. Es werden vor Ort Fundamente gefertigt und die Speicher nach der Aufstellung mit Wärmedämmung versehen.

7.2 Wärmenetz/Anbindungsleitung

Die Auslegung der Anbindungsleitung erfolgte so, dass die maximal mögliche Erzeugungsleistung an den Standorten ins Bestandsnetz übertragen werden kann. Im Straßenbereich werden Hauptleitungen verlegt. Die Länge der Wärmeleitungen betragen 720 m bei Variante 1 und 560 m bei Variante 2.

Bei dieser Untersuchung wird von einer Verlegung von KMR-Doppelrohren mit der aktuell besten, verfügbaren Dämmung ausgegangen (Dämmstufe 3, doppelt verstärkt). Diese haben den Vorteil, dass eine Netzüberwachung sowie hohe Drücke und Temperaturen im Leitungsnetz möglich sind.



Abb. 23: KMR-Duo-Rohr



Abb. 24: Verlegung KMR-Rohr

8 Förderung

Aktuell steht das Förderprogramm „Bundesförderprogramm effiziente Wärmenetze“ BEW kurz vor der Verabschiedung. Es soll im Laufe des Jahres 2021 in Kraft treten. Dieses Förderprogramm wurde für die beiden untersuchten Varianten angesetzt.

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 1

Investitionsförderung	rd. 1.650.000,-- €
Betriebsprämie (auf 10 Jahre)	rd. 450.000,-- €/a

mögliche BEW-Förderung Variante 2

Investitionsförderung	rd. 1.600.000,-- €
Betriebsprämie (auf 10 Jahre)	rd. 80.000,-- €/a

Bei den Investitionskosten der Variante 1 wurden die Kosten für das Blockheizkraftwerk inkl. Einbindung nicht mit einbezogen.

Bei den Investitionskosten der Variante 2 wurden die Kosten für das Grundstück nicht mit einbezogen.

Zu beachten ist, dass es sich bei den bisher bekannten Rahmendaten zum Förderprogramm BEW um nicht vollständig gesicherte Daten handelt. Die Förderbedingungen können sich bis zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der Förderung noch ändern.

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

9 Investitionskosten

Nachfolgend werden die Netto-Investitionskosten für die Wärmeerzeugungen der Varianten 1 und 2 aufgeführt.

Variante 1: WP 1,5 MW + 50 kW BHKW Klärgas

Wärmenetz Kläranlage bis Bestand

Wärmeleitung	320.000,-- €
Tiefbau	540.000,-- €
Nebenkosten	130.000,-- €
Summe Wärmenetz	990.000,-- €

Heizungstechnik

Wärmeleitung	180.000,-- €
Tiefbau/Verlegung	360.000,-- €
Wärmepumpen	420.000,-- €
Abwasserwärmetauscher	300.000,-- €
Blockheizkraftwerk 50 kW	110.000,-- €
Einbindung Blockheizkraftwerk	10.000,-- €
Abgasanlage BHKW	15.000,-- €
Wärmespeicher gedämmt	140.000,-- €
Heizungstechnik	360.000,-- €
Elektroarbeiten	105.000,-- €
Trafostation/Stromanschluss	120.000,-- €
Wärmedämmung	60.000,-- €
Regelung	60.000,-- €
Nebenkosten	340.000,-- €
Summe Heizungstechnik	2.580.000,-- €

Heizzentrale

Gebäude Wärmepumpen	150.000,-- €
Gebäude Energiezentrale	200.000,-- €
Erschließung/Außenanlagen	75.000,-- €
Fundamente	25.000,-- €
Entnahmebauwerk	150.000,-- €
Nebenkosten	120.000,-- €
Summe Heizzentrale	720.000,-- €

Zusammenstellung

Wärmenetz	990.000,-- €
Heizungstechnik	2.580.000,-- €
Heizzentrale	720.000,-- €
Summe	4.290.000,-- €

Variante 2: Holzheizung 2 MW inkl. Kondensation
--

Wärmenetz Häckselplatz bis Bestand

Wärmeleitung	250.000,-- €
Tiefbau	420.000,-- €
Nebenkosten	100.000,-- €
Summe Wärmenetz	770.000,-- €

Heizungstechnik

Holzheizung mit E-Filter	600.000,-- €
Rauchgaskondensation	150.000,-- €
Wärmepumpe	100.000,-- €
Schornstein	50.000,-- €
Wärmespeicher ungedämmt	230.000,-- €
Heizungstechnik	330.000,-- €
Lüftungs-und Sanitärtechnik	30.000,-- €
Elektroarbeiten	70.000,-- €
Wärmedämmung	150.000,-- €
Regelung	50.000,-- €
Nebenkosten	280.000,-- €
Summe Heizungstechnik	2.040.000,-- €

Heizzentrale

Gebäude mit Außenanlage	800.000,-- €
Grundstück	100.000,-- €
Erschließung mit Außenanlagen	200.000,-- €
Nebenkosten	200.000,-- €
Summe Heizzentrale	1.300.000,-- €

Zusammenstellung

Wärmenetz	770.000,-- €
Heizungstechnik	2.040.000,-- €
Heizzentrale	1.300.000,-- €
Summe	4.110.000,-- €

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

Investitionskosten netto	Variante 1 Wärmepumpe 1,5 MW + 50 kW BHKW	Variante 2 Holzheizung 2 MW inkl. Kondensation
Wärmenetz	990.000 €	770.000 €
Heizungstechnik	2.580.000 €	2.040.000 €
Heizzentrale	720.000 €	1.300.000 €
mögliche Förderung	-1.650.000 €	-1.600.000 €
Summe zzgl. MwSt.	2.640.000 €	2.510.000 €

10 Wirtschaftlichkeit

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

10.1 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.

10.2 Energiepreise

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

Strombezug Heizzentrale/Wärmepumpen

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 (Mittelwert der letzten 4 Quartale).

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 8,00 ct/kWh	Rücklieferung 16,00 ct/kWh
-----------------------------------	-----------------------------	-------------------------------

** für 30.000 Vollbenutzungsstunden

Holzhackschnitzelpreis

Für den Holzhackschnitzelwärmepreis wurde folgender Wert angesetzt:

Hackschnitzelwärme 2,5 ct/kWh

10.3 Wärmeerzeugungskosten

Die Wärmeerzeugungskosten wurden für die Varianten 1 und 2 ermittelt. Die nötige Wärmenetzanbindung an das bestehende Wärmenetz wurde einkalkuliert.

Die folgende Tabelle zeigt die Wärmeerzeugungskosten unter Einbeziehung der möglichen Förderungen. Teilt man diese durch die Wärmeerzeugung, erhält man den spezifischen Wärmeerzeugungspreis. Aufgrund der Betriebsprämie des BEW für die Dauer von 10 Jahren wurden die Wärmeerzeugungskosten der Varianten für die ersten 10 Betriebsjahre sowie für die folgenden 10 Jahre dargestellt.

Wärmeerzeugungskosten inkl. möglicher BEW-Förderung (ohne MwSt.)	Variante 1 WP 1,5 MW + BHKW 50 kW Betriebsjahr 1. - 10. €/a	Variante 1 WP 1,5 MW + BHKW 50 kW Betriebsjahr 11. - 20. €/a	Variante 2 Holzheizung 2 MW inkl. Kondensation Betriebsjahr 1. - 10. €/a	Variante 2 Holzheizung 2 MW inkl. Kondensation Betriebsjahr 11. - 20. €/a
	Kapitalkosten	231.000,--	231.000,--	221.000,--
Betriebskosten	55.000,--	55.000,--	107.000,--	107.000,--
Brennstoffkosten	525.000,--	525.000,--	284.000,--	284.000,--
abzgl. Stromerlöse	-20.000,--	-14.000,--	,--	,--
abzgl. Förderungen Wärme	-450.000,--	,--	-80.000,--	,--
abzgl. Förderungen Investition	-102.000,--	-102.000,--	-100.000,--	-100.000,--
Jahresheizkosten netto	239.000,--	695.000,--	432.000,--	512.000,--
Wärmeerzeugungspreis netto	3,1 ct/kWh	9,0 ct/kWh	4,5 ct/kWh	5,3 ct/kWh
Nutzwärme	7.690.000 kWh/a	7.690.000 kWh/a	9.600.000 kWh/a	9.600.000 kWh/a

Die Wärmeerzeugungskosten unter Einbeziehung der möglichen BEW-Förderung belaufen sich bei Variante 1 auf 239.000,-- € für die ersten 10 Betriebsjahre und nach Wegfall der Betriebsprämie auf 695.000,-- € für die Betriebsjahre 11 - 20. Bei Variante 2 belaufen sich die Wärmeerzeugungskosten auf 432.000,-- €/a für die ersten 10 Betriebsjahre und auf 512.000,-- € für die Betriebsjahre 11 - 20.

Daraus ergeben sich bei Variante 1 Wärmeerzeugungspreis von 3,1 ct/kWh (Jahre 1 - 10) bzw. 9,0 ct/kWh (Jahre 11 - 20).

Bei Variante 2 belaufen sich die Wärmeerzeugungskosten auf 4,5 ct/kWh (Jahre 1 - 10) bzw. 5,3 ct/kWh (Jahre 11 - 20).

Die mittleren Erzeugungspreise über 20 Jahre belaufen sich bei Variante 1 auf 6,1 ct/kWh und bei Variante 2 auf 4,9 ct/kWh.

11 Umweltbilanz

11.1 Energiebilanz

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

Erdgas	63,8 %
Solarthermie	0,4 %
Heizstrom	0,5 %
Heizöl	35,3 %

Bei den Wärmeerzeugungsvarianten wurden für die Verteilverluste ein Anteil von 5 % einberechnet.

Gegenüber den bestehenden Heizungsanlagen ergibt sich folgende Einsparung an fossilen Brennstoffen, umgerechnet in Heizöläquivalent:

Variante 1 **550.000 Liter Heizöläquivalent/Jahr**

Variante 2 **950.000 Liter Heizöläquivalent/Jahr**

11.2 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
Solarthermie	0,000
Biomasse (Holz)	0,020
Klärgas	0,000

Nachfolgend sind die CO₂-Bilanzen für die Wärmeerzeugungen der Varianten 1 und 2 dargestellt.

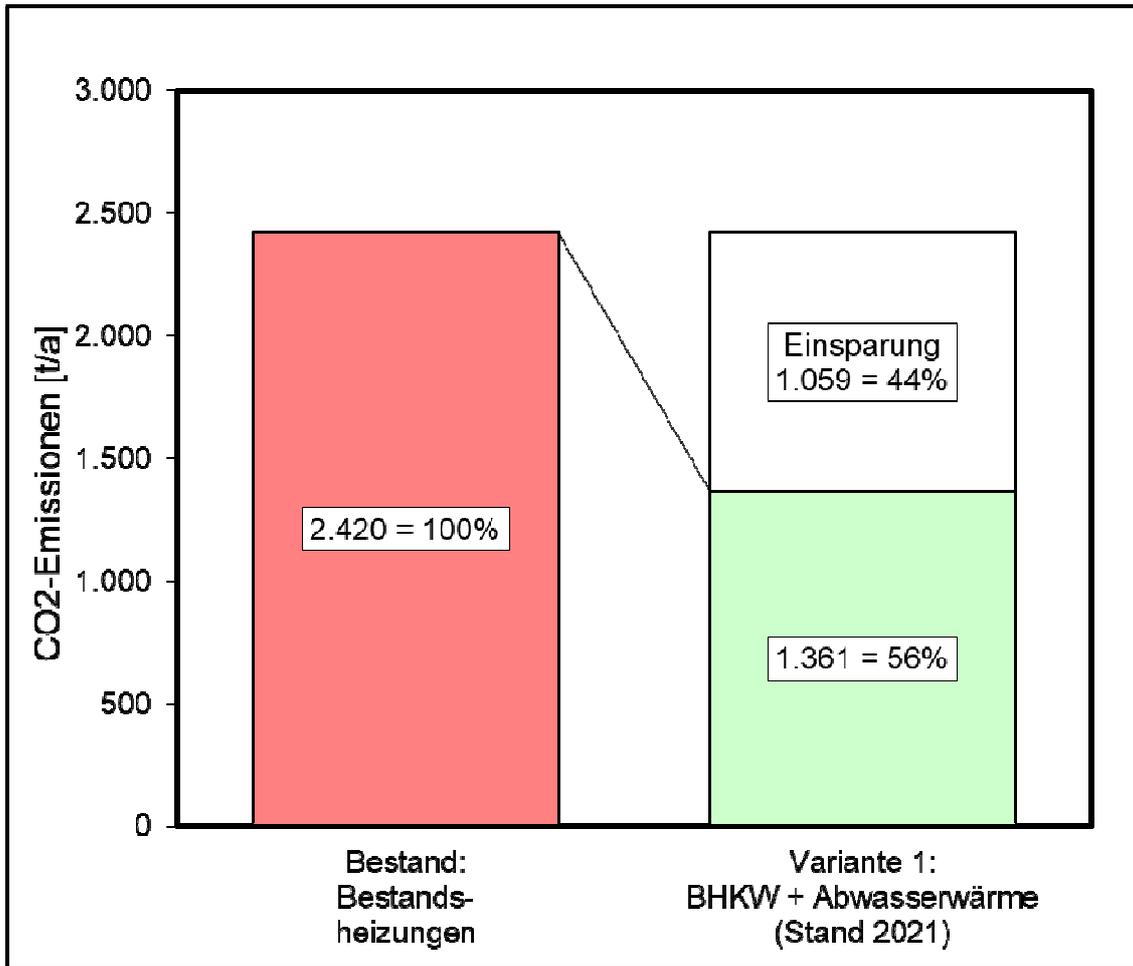


Abb. 25: CO₂-Emissionsbilanz Variante 1 (Stand 2021)

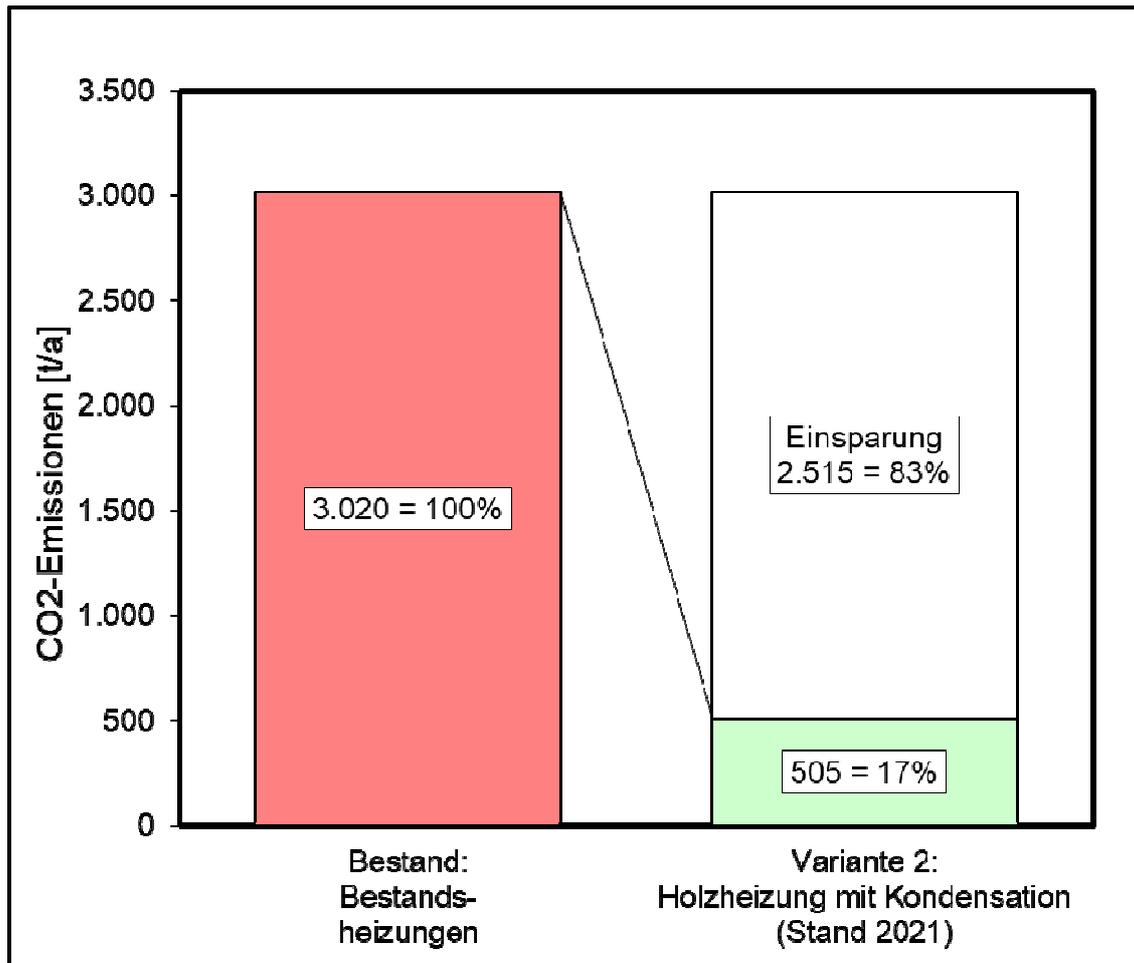


Abb. 26: CO₂-Emissionsbilanz Variante 2 (Stand 2021)

Insgesamt können mit der Wärmeerzeugung aus Abwasserwärme (Variante 1) 1.059 Tonnen CO₂-Äquivalent eingespart werden. Wird zur Wärmeerzeugung eine Holzheizung mit Kondensation eingesetzt, können 2.515 Tonnen CO₂-Äquivalent eingespart werden (Variante 2). Dies entspricht Einsparungen in Höhe von 44 bzw. 83 %.

Mit zukünftig abnehmendem CO₂-Faktor für Strom werden die Einsparungen der Variante 1 gegenüber den fossil befeuerten Bestandsanlagen zunehmen.

12 Anhang

12.1 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.

12.1.1 Energiebilanz

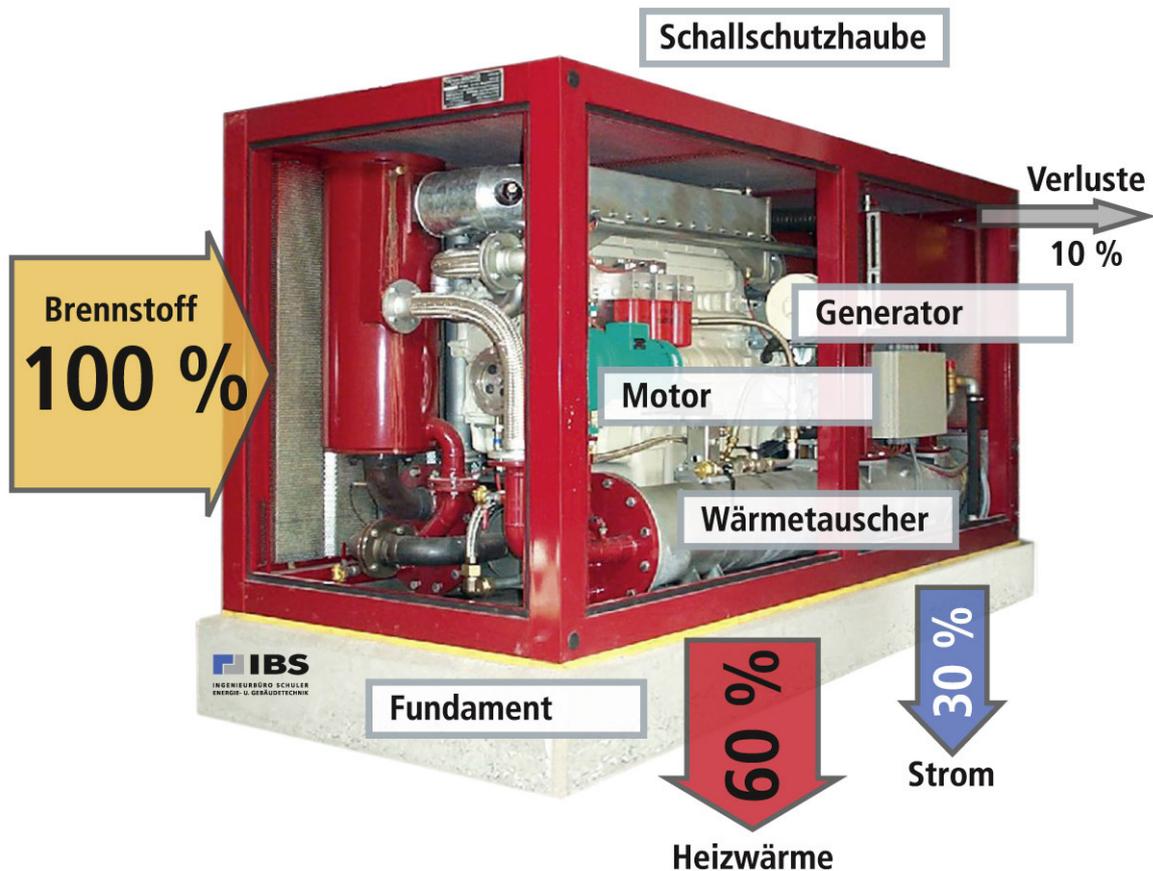


Abb. 27: Energiebilanz eines Blockheizkraftwerkes

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



Abb. 28: Blockheizkraftwerk und Heizkessel

12.1.2 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 (Einspeiseerlös).

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 Netznutzungsentgelt 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 Vollbenutzungsstunden 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

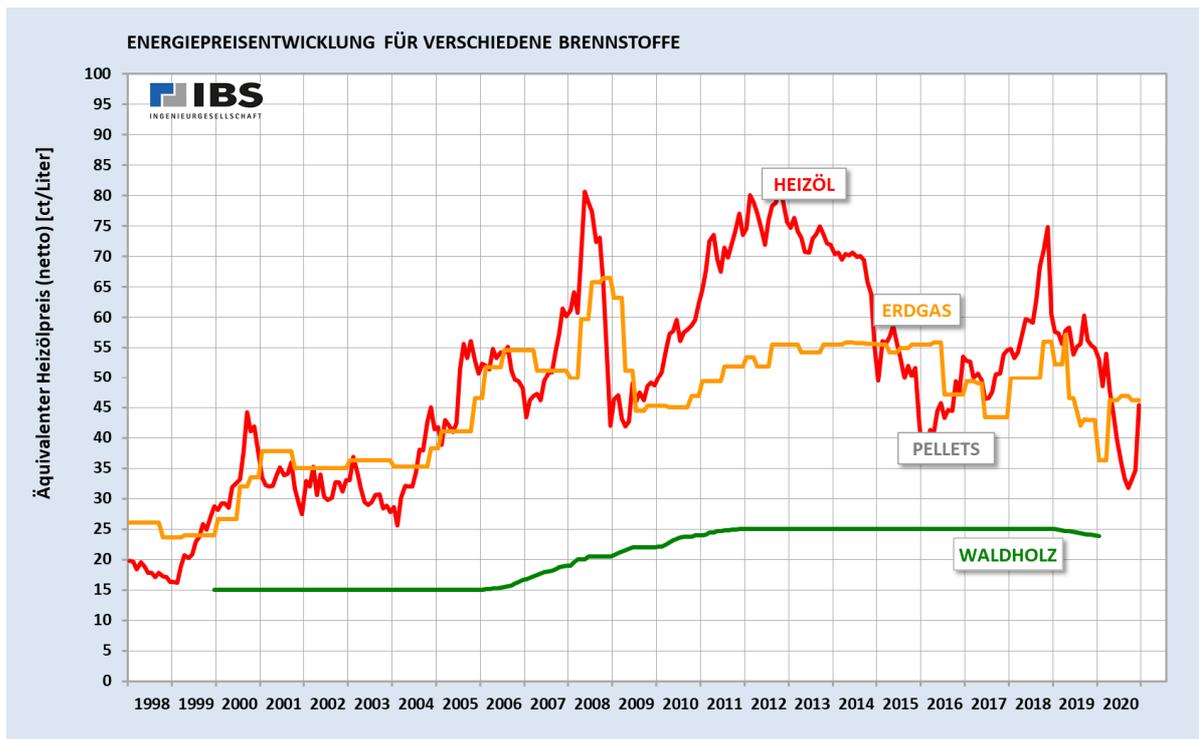
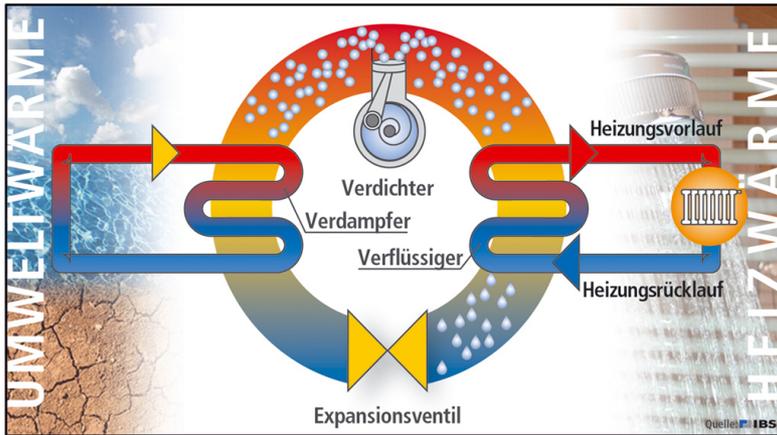


Abb. 29: Entwicklung Brennstoffpreis Heizöl, Erdgas und Waldholz (Hackschnitzel)

12.2 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.

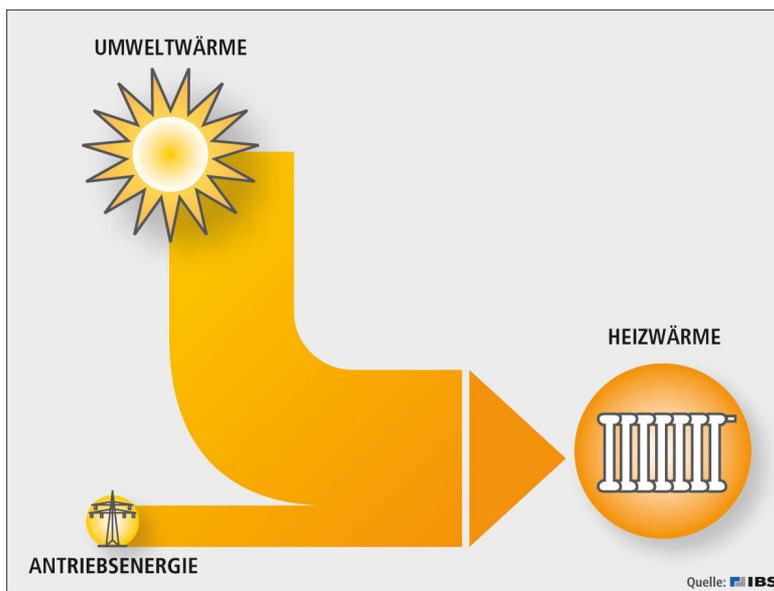
Über den Verdampfer nimmt das flüssige Kältemittel aus der Umgebung Energie auf und wird dabei verdampft. Anschließend wird das gasförmige Kältemittel im Verdichter komprimiert und gleichzeitig durch die Kompression auf ein höheres, zu Heizzwecken nutzbares Temperaturniveau angehoben.



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. 30: 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. 31: Energieflussdiagramm einer Wärmepumpe

12.3 Holzheizungen

Holzenergienutzung

Die Vorteile einer Holzheizung im Vergleich zur herkömmlichen Öl- oder Gasheizung sind:

- | | |
|--|--|
| – nachwachsender Rohstoff | ⇒ Ressourcenschonung (Öl, Gas) |
| – heimischer Energieträger | ⇒ geringere Abhängigkeit von Energieimporten |
| – regionale Wertschöpfung | ⇒ volkswirtschaftlicher Vorteil |
| – Reduzierung des CO ₂ -Ausstoßes | ⇒ geringere globale Erwärmung
weniger Klimakatastrophen |

Holz zählt als nachwachsender Rohstoff zu den erneuerbaren Energiequellen. Bei der Verbrennung von Holz wird genau die Menge an CO₂ freigesetzt, die beim Wachstum des Baumes der Atmosphäre entzogen wurde. Im Gegensatz zur Verbrennung fossiler Brennstoffe entsteht keine zusätzliche CO₂-Belastung der Atmosphäre. Wird das Holz nicht verbrannt, entsteht beim Verrotten ebenfalls die gleiche Menge an CO₂.

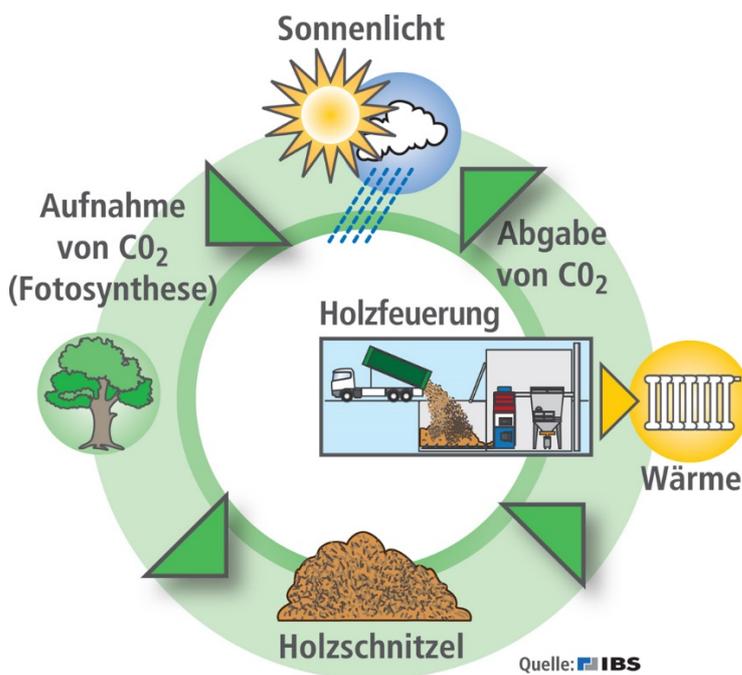


Abb. 32: Stoffkreislauf von Holz bei der Verbrennung

Wesentliche Bestandteile Heizzentrale mit Holzkessel

Eine Holzfeuerungsanlage besteht im Wesentlichen aus folgenden Bestandteilen:

- Holzheizkessel
- Pufferspeicher
- Brennstofflager (Silo)

- Austrage- und Brennstofftransportsystem
- Abgasanlage und Abgasreinigung
- Zusatzheizkessel

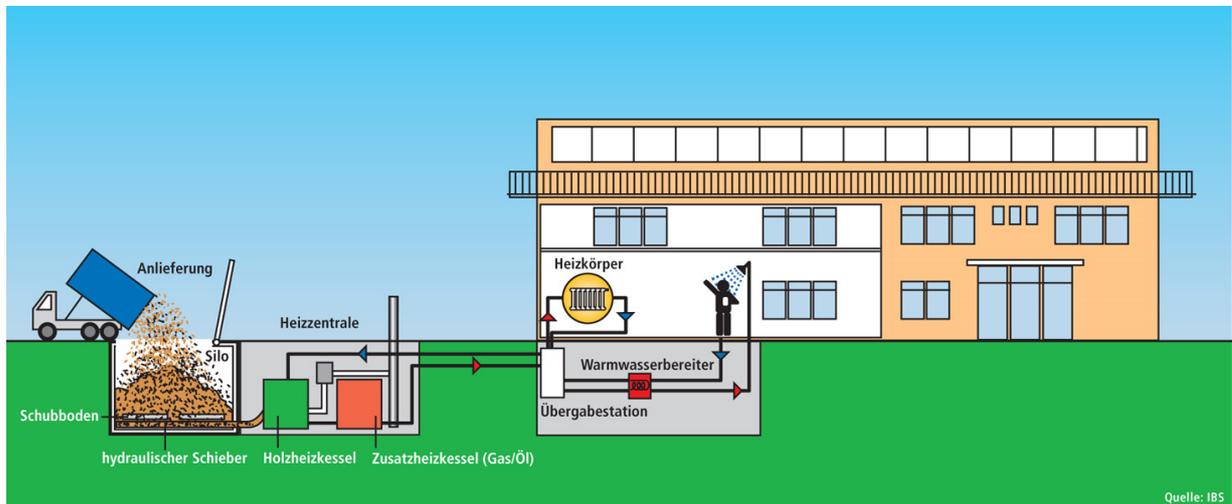
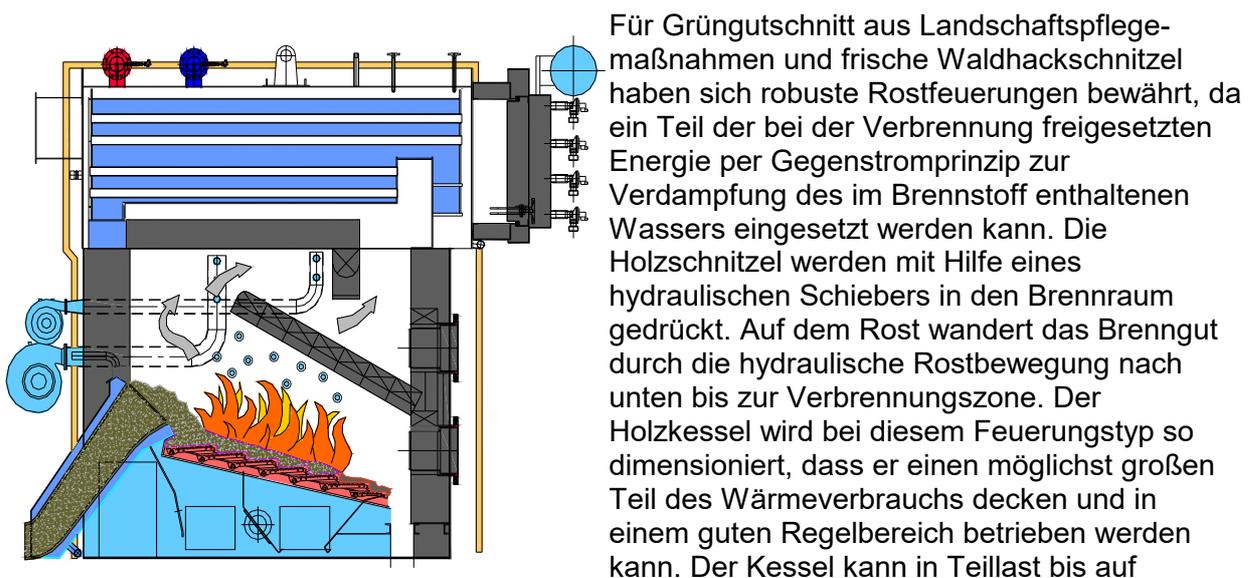


Abb. 33: Prinzipschema Holzheizung

Holzessel mit Rostfeuerung

Die Wahl des Feuerungssystems hängt neben der Anlagengröße davon ab, welcher Brennstoff benutzt werden soll. Ziel von Anlagen zur Biomasseverbrennung ist eine möglichst schadstoffarme und effiziente Erzeugung von Wärme. Deshalb muss die Feuerungstechnik auf den einzusetzenden Brennstoff und die notwendige Feuerungswärmeleistung abgestimmt werden.



20 - 30 % der Nennleistung gedrosselt werden. Liegt die Last unterhalb der kleinsten Teillast geht der Kessel in den sogenannten Gluterhaltungsbetrieb über. Um längere Betriebszeiten

im verbrennungstechnisch ungünstigen Gluterhalt zu vermeiden, wird der Kessel während der Sommermonate häufig ganz abgeschaltet.

Holzsplitzel

Zur Brennstoffbevorratung wird ein Silo benötigt, um die Brennstoffversorgung über einen anlieferungsfreien Zeitraum (z. B. Feiertage, witterungsbedingter Ausfall) sicherzustellen. Die Mindestgröße des Lagers richtet sich meist nach dem Brennstoffverbrauch des Holzkessels für 3 - 5 Tage bei Vollast. Nach oben ist die Größe aus Platzgründen sowie aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten begrenzt.

Die Befüllung erfolgt durch Einschütten der Holzsplitzel in eine Einschüttöffnung. Um die Transportwege und die erforderlichen Fördereinrichtungen kurz zu halten, sollte das Silo immer in räumlicher Nähe zum Holzkessel angeordnet sein.



Abb. 34: Silo bei geöffnetem Deckel



Abb. 35: Anlieferung Holzsplitzel

Rauchgaskondensation

Hackschnitzel enthalten hohe Anteile Wasser. Witterungs- und materialabhängig bewegt sich die Feuchte der Hackschnitzel im Bereich von etwa 40 - 50 %. Diese Feuchte wird zusammen mit den Rauchgasen als Wasserdampf über den Schornstein abgeführt und bietet ein hohes Energiepotenzial. Über eine Rauchgaskondensation kann diese Wärmeenergie nutzbar gemacht werden. Ein Teil der Kondensationswärme kann hierbei über den Netzzrücklauf direkt für das Wärmenetz genutzt werden (ca. 10 -15 %).

Die Wärmeausbeute der Rauchgaskondensation kann mit niedrigeren Betriebstemperaturen deutlich gesteigert werden (siehe Grafik). Dies kann als Nutzung der Abgaskondensation als Wärmequelle für eine Wärmepumpe erreicht werden. Die Wärmepumpe kann die Quellentemperatur aus der Abgastemperatur auf Netztemperatur anheben. Zur Entkopplung kann ein Wärmequellenspeicher eingesetzt werden.

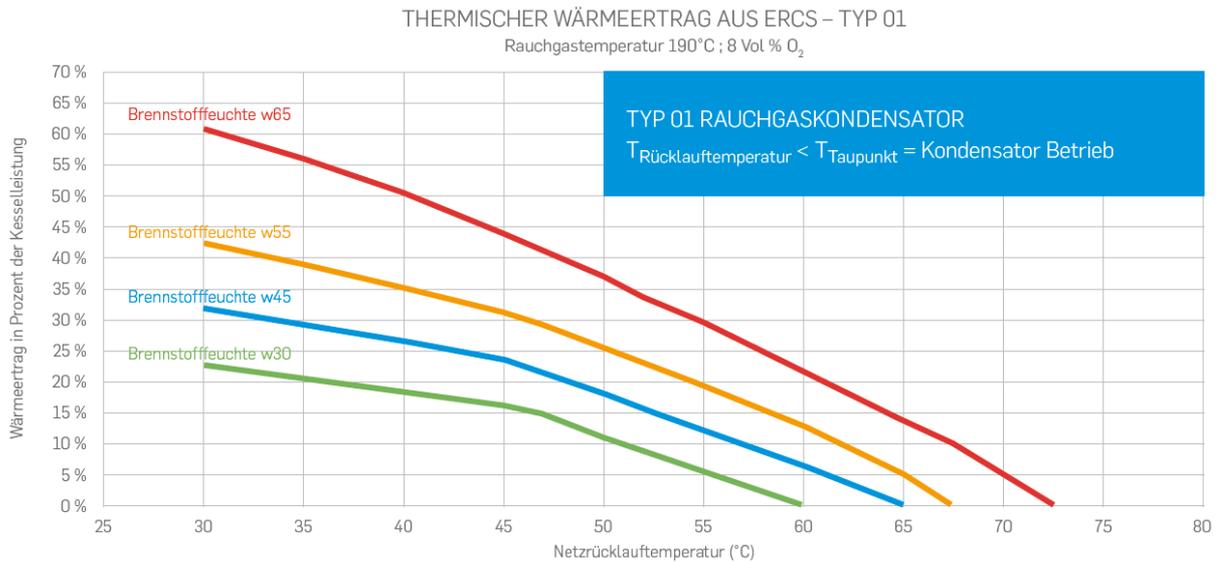


Abb. 36: Zusammenhang Wassergehalt Brennstoff, Netzurücklauftemperatur und Leistung der Rauchgaskondensation (Darstellung aus Prospekt "MAXIMALER ENERGIEGEWINN AUS RAUCHGASEN" Scheuch GmbH, www.scheuch.com)

12.4 Nahwärmeversorgung

12.4.1 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.

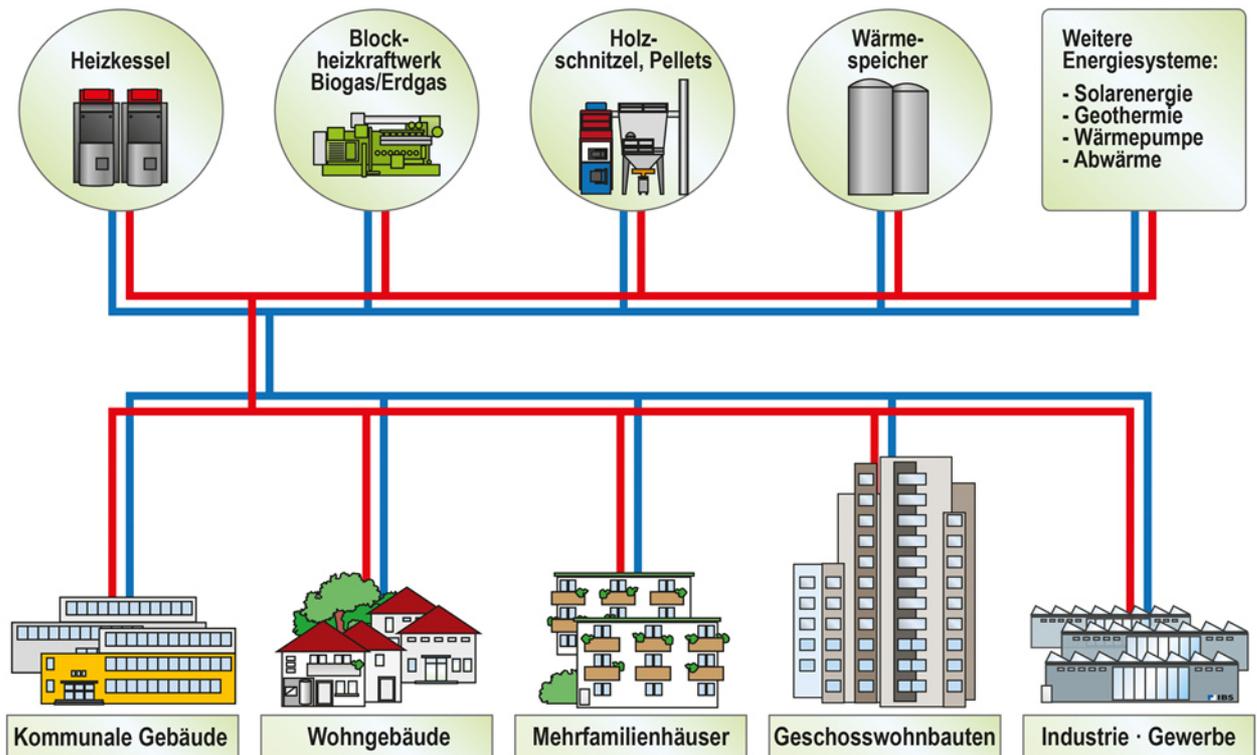


Abb. 37: Prinzipschema Wärmeverbund

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

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

12.4.2 Nahwärmenetz

Die wesentlichen Bestandteile eines Nahwärmenetzes sind im nachfolgenden Bild dargestellt:

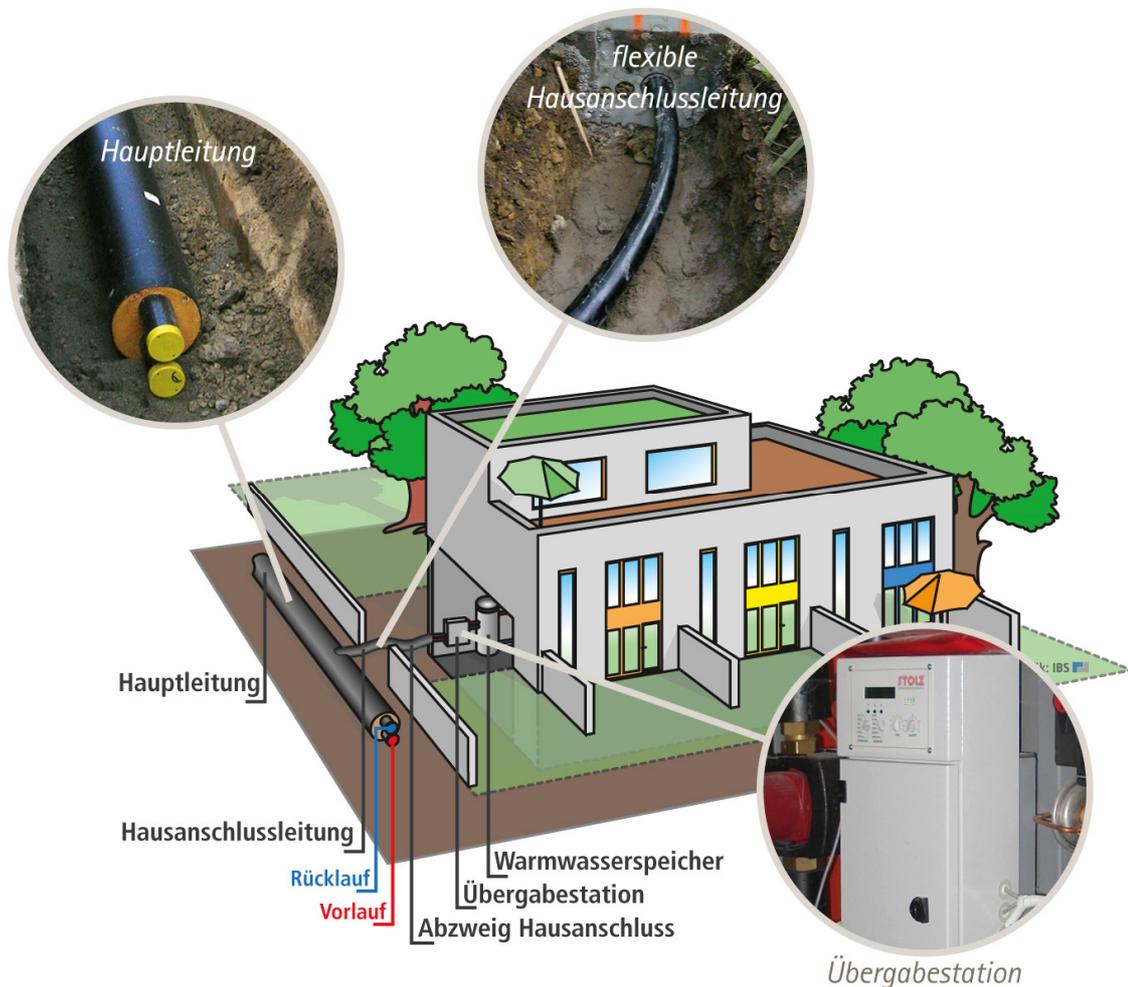


Abb. 38: wesentliche Bestandteile Nahwärmenetz

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 aufwendige 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.

Berechnungen

12.4.3 Investitionskosten

Variante 1: WP 1,5 MW + 50 kW BHKW Klärgas

Wärmenetz Kläranlage bis Bestand

Wärmeleitung	320.000,-- €
Tiefbau	540.000,-- €
Nebenkosten	130.000,-- €
Summe Wärmenetz	990.000,-- €

Heizungstechnik

Wärmeleitung	180.000,-- €
Tiefbau/Verlegung	360.000,-- €
Wärmepumpen	420.000,-- €
Abwasserwärmetauscher	300.000,-- €
Blockheizkraftwerk 50 kW	110.000,-- €
Einbindung Blockheizkraftwerk	10.000,-- €
Abgasanlage BHKW	15.000,-- €
Wärmespeicher gedämmt	140.000,-- €
Heizungstechnik	360.000,-- €
Elektroarbeiten	105.000,-- €
Trafostation/Stromanschluss	120.000,-- €
Wärmedämmung	60.000,-- €
Regelung	60.000,-- €
Nebenkosten	340.000,-- €
Summe Heizungstechnik	2.580.000,-- €

Heizzentrale

Gebäude Wärmepumpen	150.000,-- €
Gebäude Energiezentrale	200.000,-- €
Erschließung/Außenanlagen	75.000,-- €
Fundamente	25.000,-- €
Entnahgebauwerk	150.000,-- €
Nebenkosten	120.000,-- €
Summe Heizzentrale	720.000,-- €

Zusammenstellung

Wärmenetz	990.000,-- €
Heizungstechnik	2.580.000,-- €
Heizzentrale	720.000,-- €
Summe	4.290.000,-- €

Variante 2: Holzheizung 2 MW mit Kondensation
--

Wärmenetz Häckselplatz bis Bestand

Wärmeleitung	250.000,-- €
Tiefbau	420.000,-- €
Nebenkosten	100.000,-- €
Summe Wärmenetz	770.000,-- €

Heizungstechnik

Holzheizung mit E-Filter	600.000,-- €
Rauchgaskondensation	150.000,-- €
Wärmepumpe	100.000,-- €
Schornstein	50.000,-- €
Wärmespeicher ungedämmt	230.000,-- €
Heizungstechnik	330.000,-- €
Lüftungs-und Sanitärtechnik	30.000,-- €
Elektroarbeiten	70.000,-- €
Wärmedämmung	150.000,-- €
Regelung	50.000,-- €
Nebenkosten	280.000,-- €
Summe Heizungstechnik	2.040.000,-- €

Heizzentrale

Gebäude mit Außenanlage	800.000,-- €
Grundstück	100.000,-- €
Erschließung mit Außenanlagen	200.000,-- €
Nebenkosten	200.000,-- €
Summe Heizzentrale	1.300.000,-- €

Zusammenstellung

Wärmenetz	770.000,-- €
Heizungstechnik	2.040.000,-- €
Heizzentrale	1.300.000,-- €
Summe	4.110.000,-- €

12.4.4 Förderung

Variante 1: WP 1,5 MW + 50 kW BHKW Klärgas

Förderung Investition

Wärmenetz			990.000,-- €
Technik (ohne BHKW)			3.145.000,-- €

	40% x	4.135.000,-- € =	1.654.000,-- €
Investitionsförderung BEW		rund	1.650.000,-- €

Betriebsprämie (auf 10 Jahre)	7.500.000 kWh/a x	6 ct/kWh =	450.000,-- €/a
--------------------------------------	-------------------	------------	-----------------------

Variante 2: Holzheizung 2 MW mit Kondensation

Wärmenetz			770.000,-- €
Technik (ohne Grundstück)			3.240.000,-- €

	40% x	4.010.000,-- € =	1.604.000,-- €
Investitionsförderung BEW		rund	1.600.000,-- €

Betriebsprämie (auf 10 Jahre)	1.600.000 kWh/a x	5 ct/kWh =	80.000,-- €/a
--------------------------------------	-------------------	------------	----------------------

12.4.5 Kapitalkosten

Variante 1: WP 1,5 MW + 50 kW BHKW Klärgas

Kapitalkosten Erzeugung	Investitions- kosten	Kapitalkosten Zins: 3,0%			Wart./Instandh.	
		Nutzung	Annuität	Kosten	Kosten	
	€	Jahre	%/a	€/a	%/a	€/a
Wärmenetz Kläranlage bis Bestand						
Wärmeleitung	320.000,--	40	4,33%	13.856,--	1,0%	3.200,--
Tiefbau	540.000,--	40	4,33%	23.382,--	0,0%	,--
Nebenkosten	130.000,--	40	4,33%	5.629,--	0,0%	,--
Heizungstechnik						
Wärmeleitung	180.000,--	40	4,33%	7.794,--	1,0%	1.800,--
Tiefbau/Verlegung	360.000,--	40	4,33%	15.588,--	0,0%	,--
Wärmepumpen	420.000,--	20	6,72%	28.224,--	1,5%	6.300,--
Abwasserwärmetauscher	300.000,--	20	6,72%	20.160,--	0,5%	1.500,--
Blockheizkraftwerk 50 kW	110.000,--	20	6,72%	7.392,--	Vollwartung	
Einbindung Blockheizkraftwerk	10.000,--	20	6,72%	672,--	2,0%	200,--
Abgasanlage BHKW	15.000,--	20	6,72%	1.008,--	0,5%	75,--
Wärmespeicher gedämmt	140.000,--	20	6,72%	9.408,--	0,5%	700,--
Heizungstechnik	360.000,--	20	6,72%	24.192,--	2,0%	7.200,--
Elektroarbeiten	105.000,--	20	6,72%	7.056,--	0,5%	525,--
Trafostation/Stromanschluss	120.000,--	20	6,72%	8.064,--	0,5%	600,--
Wärmedämmung	60.000,--	20	6,72%	4.032,--	0,5%	300,--
Regelung	60.000,--	20	6,72%	4.032,--	2,5%	1.500,--
Nebenkosten	340.000,--	20	6,72%	22.848,--	0,0%	,--
Heizzentrale						
Gebäude Wärmepumpen	150.000,--	50	3,89%	5.835,--	0,5%	750,--
Gebäude Energiezentrale	200.000,--	50	3,89%	7.780,--	0,5%	1.000,--
Erschließung/Außenanlagen	75.000,--	50	3,89%	2.918,--	0,5%	375,--
Fundamente	25.000,--	50	3,89%	973,--	0,5%	125,--
Entnahmebauwerk	150.000,--	50	3,89%	5.835,--	0,5%	750,--
Nebenkosten	120.000,--	50	3,89%	4.668,--	0,0%	,--
Summe	4.290.000,--			231.345,--		26.900,--
			rd.	231.000,--	rd.	27.000,--
kapitalisierte Förderung Netz	396.000,--	40	4,33%	17.147,--		
			rd.	17.000,--		
kapitalisierte Förderung Technik	1.258.000,--	20	6,72%	84.538,--		
			rd.	85.000,--		

Variante 2: Holzheizung 2 MW mit Kondensation

Kapitalkosten Erzeugung	Investitions- kosten €	Kapitalkosten Zins: 3,0%			Wart./Instandh.	
		Nutzung Jahre	Annuität %/a	Kosten €/a	Kosten %/a	Kosten €/a
Heizungstechnik						
Holzheizung mit E-Filter	600.000,--	20	6,72%	40.320,--	3,0%	18.000,--
Rauchgaskondensation	150.000,--	20	6,72%	10.080,--	2,0%	3.000,--
Wärmepumpe	100.000,--	20	6,72%	6.720,--	3,0%	3.000,--
Schornstein	50.000,--	20	6,72%	3.360,--	0,5%	250,--
Wärmespeicher ungedämmt	230.000,--	20	6,72%	15.456,--	0,5%	1.150,--
Heizungstechnik	330.000,--	20	6,72%	22.176,--	2,0%	6.600,--
Lüftungs-und Sanitärtechnik	30.000,--	20	6,72%	2.016,--	1,0%	300,--
Elektroarbeiten	70.000,--	20	6,72%	4.704,--	0,5%	350,--
Wärmedämmung	150.000,--	20	6,72%	10.080,--	0,5%	750,--
Regelung	50.000,--	20	6,72%	3.360,--	2,5%	1.250,--
Nebenkosten	280.000,--	20	6,72%	18.816,--	0,0%	,--
Heizzentrale						
Gebäude mit Außenanlage	800.000,--	50	3,89%	31.120,--	0,5%	4.000,--
Grundstück	100.000,--	50	3,89%	3.890,--	0,5%	500,--
Erschließung mit Außenanlagen	200.000,--	50	3,89%	7.780,--	0,5%	1.000,--
Nebenkosten	200.000,--	50	3,89%	7.780,--	0,0%	,--
Summe	3.340.000,--			187.658,--		40.150,--
			rd.	188.000,--	rd.	40.000,--
kapitalisierte Förderung Wärmenetz	308.000,--	40	4,33%	13.336,--		
			rd.	13.000,--		
kapitalisierte Förderung Technik	1.296.000,--	20	6,72%	87.091,--		
			rd.	87.000,--		

12.4.6 Betriebskosten

Variante 1: WP 1,5 MW + 50 kW BHKW Klärgas

Wartung/Instandhaltung					26.900,- €/a
Wartungs- und Instandhaltung BHKW	95.000,0 kWh/a	x	3,00 ct/kWh	=	2.850,- €/a
Betriebsstrom (1% der Wärmeerzeugung)	25.000 kWh/a	x	21 ct/kWh	=	5.250,- €/a
Personalaufwand Heizzentrale	100 h	x	46,- €/h	=	4.560,- €/a
Steuerberatung/Versicherung/Verwaltung/Abrechnung					15.000,- €/a
Betriebskosten netto					54.560,- €/a
				rd.	55.000,- €/a

Variante 2: Holzheizung 2 MW mit Kondensation

Wartung/Instandhaltung					40.150,- €/a
Betriebsstrom	144.000 kWh/a	x	21 ct/kWh	=	30.240,- €/a
Personalaufwand Heizzentrale	400 h	x	46,- €/h	=	18.240,- €/a
Steuerberatung/Versicherung/Verwaltung/Abrechnung					15.000,- €/a
Betriebskosten netto					103.630,- €/a
				rd.	104.000,- €/a

12.4.7 Brennstoffkosten

Variante 1: WP 1,5 MW + 50 kW BHKW Klärgas

Klärgas BHKW	304.000 kWh	x	1,1 Hs/Hi	=	334.400 kWh Hs
Summe Klärgasbezug					334.400 kWh Hs
Klärgaspreis	334.400 kWh	x	0,00 ct/kWh	=	0 €/a
CO2-Steuer	0 kWh	x	0,00 ct/kWh	=	0 €/a
Erdgassteuerrückerstattung	334.400 kWh	x	0,00 ct/kWh	=	0 €/a
Summe					,-- €/a
	Gaskosten			rund	,-- €/a
Strombezug Wärmepumpe 5.000 h					
Antriebsenergie	7.500.000 kWh/a	:	3 JAZ	=	2.500.000 kWh/a
Stromkosten	2.500.000 kWh/a	x	21 ct/kWh	=	525.000,- €/a
Stromkosten					525.000,- €/a
	Gesamtkosten			rund	525.000,- €/a

Variante 2: Holzheizung 2 MW mit Kondensation

Holzheizung	8.000.000 kWh	:	80 %	=	10.000.000 kWh
	10.000.000 kWh	:	700 kWh/Sm ³	=	14.286 Sm ³
	14.286 Sm ³	:	80 Sm ³ /LKW	=	179 Lieferung
	8.000.000 kWh/a	x	2,5 ct/kWh	=	200.000,- €/a
			rund		200.000,- €/a
Strom Wärmepumpe	1.600.000 kWh	:	4 JAZ	=	400.000 kWh/a
	400.000 kWh	x	21 ct/kWh	=	84.000,- €/a
			rund		84.000,- €/a
	Gesamtkosten			rund	284.000,- €/a

12.4.8 Stromerlöse

Variante 1: WP 1,5 MW + 50 kW BHKW Klärgas

Stromerzeugung BHKW 95.000 kWh/a

Stromrückspeisung

Einspeisung in EnBW-Netz 95.000 kWh/a

üblicher Preis 95.000 kWh/a x 4,00 ct/kWh = 3.800,-- €/a

verm. Netzkosten Arbeit 95.000 kWh/a x 0,09 ct/kWh = 86,-- €/a

verm. Netzkosten Leistung 11 kW x 104,61 €/kW*a = 1.134,-- €/a

Summe 5.020,-- €/a

rund 5.000,-- €/a

KWK-Zulage Rückspeisung

Zulage bis 50 kW Leistung Rücklieferung 95.000 kWh/a x 16 ct/kWh = 15.200,-- €/a

95.000 kWh/a 15.200,-- €/a

rund 15.000,-- €/a

KWK-Zulage 30.000 Bh : 1.900 h/a = 15,8 Jahre

KWK-Zulage gesamt 15,8 Jahre x 15.200,-- €/a = 240.000,-- €

KWK-Zulage auf 20 Jahre 240.000,-- € : 20 Jahre = 12.000,-- €/a

rund 12.000,-- €/a

Eigenstromnutzung 95.000 kWh/a x 0% = 0 kWh/a

Vermiedener Strombezug 0 kWh/a x 21 ct/kWh = ,-- €/a

(anteilige) EEG-Umlage 0 kWh/a x -6,76 ct/kWh = ,-- €/a

Summe Eigenstromerlöse ,-- €/a

rund ,-- €/a

resultierende Stromerlöse 17.020,-- €/a

rund 17.000,-- €/a