



dm^e
consult

**Machbarkeitsstudie
Klimafreundliche Wärmeversorgung
Siedlung Eichkamp in Berlin
Bezirk Charlottenburg - Wilmersdorf**

Inhaltsverzeichnis

1	VORWORT	5
2	VERBRAUCHER IM EICKAMPVIERTEL IN BERLIN	7
2.1	Einteilung in Bauabschnitte.....	7
2.2	Relevante Wetterdaten.....	7
2.3	Wärmebedarf.....	9
2.4	Beurteilung des Anschlusses der Gärtnerei.....	10
3	TEMPERATURFESTLEGUNG	12
3.1	Netz	12
3.2	Trinkwarmwasser	12
4	WÄRMENETZ	14
4.1	Aufbau des Niedertemperatur-Netzes.....	14
4.2	Trassen des NT-Netzes.....	14
5	WÄRMEERZEUGER UND POTENZIALE	17
5.1	Wärmeerzeuger.....	17
5.1.1	Wärmepumpe (WP).....	17
5.1.2	Biomasse (BM)	18
5.1.3	Gas-Brennwertkessel.....	19
5.1.4	Pufferspeicher.....	19
5.1.5	Überblick Erzeuger.....	21
5.2	Heizzentrale.....	23
5.2.1	Wärmetechnische Anlagen	23
5.2.2	Photovoltaik-Anlage.....	23
5.2.3	Anschlüsse.....	23
5.2.4	Entwurfsplanung Heizzentrale	23
5.2.5	Pachtkosten.....	25

5.3 Verortung der Erzeuger.....	26
5.4 Sonderfall Schulen (Abschaltlast).....	26
6 WÄRMEÜBERGABESTATIONEN	28
7 WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG	30
7.1 Festlegung von Berechnungsparametern.....	30
7.1.1 Allgemeine Festlegungen.....	30
7.1.2 Spezifische Parameter von Trassen und Erzeugern	31
7.1.3 Kostenübersicht Trassen und Erzeuger.....	32
7.2 Übersicht Jahresbilanzen.....	33
8 GENEHMIGUNGS-LAGE	35
9 FAZIT UND EMPFEHLUNG	36
10 REDAKTION	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Überblick Gesamtsystem.....	6
Abbildung 2: Eichkampviertel in Berlin	7
Abbildung 3: Diagramm Wetterdaten/Temperaturverlauf Berlin 2012.....	8
Abbildung 4: Diagramm Wetterdaten/Temperaturverlauf Wetterzone 11.....	8
Abbildung 5: Trassenplan bzw. hydraulische Berechnung.....	15
Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung einer Wärmepumpe	17
Abbildung 7: Pufferspeicher Vertikalschnitt	20
Abbildung 8: Pufferspeicher Horizontalschnitt.....	21
Abbildung 9: Anteil Energieträger	22
Abbildung 10: Grundrissentwurf Heizzentrale	24
Abbildung 11: Seitenansicht Heizzentrale.....	25
Abbildung 12: Übersichtskarte	26
Abbildung 13: Wärmeübergabestation.....	28
Abbildung 14: Trinkwarmwasserspeicher.....	29
Abbildung 15: Elektrischer Heizstab	29
Abbildung 16: Kumulierte Cashflows	34

1 Vorwort

Das Bezirksamt Charlottenburg-Wilmersdorf plant gemeinsam mit dem Arbeitskreis Energie (AK Energie) des Siedlervereins Eichkamp e.V. für die Eichkampsiedlung in Berlin die Ablösung der bisherigen erdgas- und heizölbasierten Wärmeversorgung durch eine Fernwärmeversorgung aus erneuerbaren Energien. Dies wird anfänglich eine Fernwärmeversorgung sein, welche noch so lange mit größeren Anteilen an Wärme aus Biomasse erfolgen muss, bis im Gebäudebestand durchgängig die Heizkreistemperaturen auf ein niedrigeres Temperaturniveau abgesenkt sind. Das Wärmenetz soll als Niedertemperatur-Wärmenetz konzipiert werden, um zu gegebener Zeit den Wärmebezug aus Biomasse durch einen Wärmebezug aus lokalen Niedertemperatur-Wärmeenergiequellen ablösen zu können. In den Sommermonaten, wenn kein Bedarf für Raumheizung besteht, kann das Wärmenetz von Anbeginn als Niedertemperatur-Wärmenetz mit Wärmeerzeugung durch eine Luft-Wasser-Großwärmepumpe erfolgen. Die Warmwasserbereitung wird in sämtlichen Gebäuden so angepasst, dass sie zum Wärmebezug aus einem Niedertemperatur-Wärmenetz passt. Für die Projektumsetzung plant der AK Energie für die Quartiersversorgung die Gründung einer Fernwärmegenossenschaft nach dänischem Vorbild. Weil diese aus der Sicht der Banken eine Start-up-Gesellschaft und eine Ein-Projekt-Gesellschaft ist, wurde auf die Ausarbeitung der innovativen technischen Konzeption und die damit verbundenen Investitions-, Energieverbrauchs- und Betriebskosten besondere Sorgfalt verwendet.

Die Ausarbeitung enthält die folgenden Punkte:

- Verbraucheranalyse
 - Einteilung in Bauabschnitte
 - Unterteilung der Gebäude in Einfamilien-/Reihenhäuser bzw. Doppelhaushälften (EFH/RH/DHH), Mehrfamilienhäuser (MFH) und öffentliche Gebäude
 - Relevante Wetterdaten
 - Ermittelte Wärmebedarfe und Lastgänge für Heizung (HZ) und Trinkwarmwasser (TWW oder WW)
- Auslegung des NT-Netzes
 - Temperaturfestlegung
 - Trassenplanung
- Wärmeerzeugersysteme
 - Wärmepumpe
 - Biomassekessel
 - Gas-Brennwertkessel
 - Pufferspeicher
- Entwurfsplanung einer Heizzentrale
- Wärmeübergabestationen
- Wirtschaftlichkeitsberechnungen
- Genehmigungsfragen

Wesentliche Punkte dieser Machbarkeitsstudie sind in *Abbildung 1* in Form eines ersten Überblicks vereinfacht dargestellt.

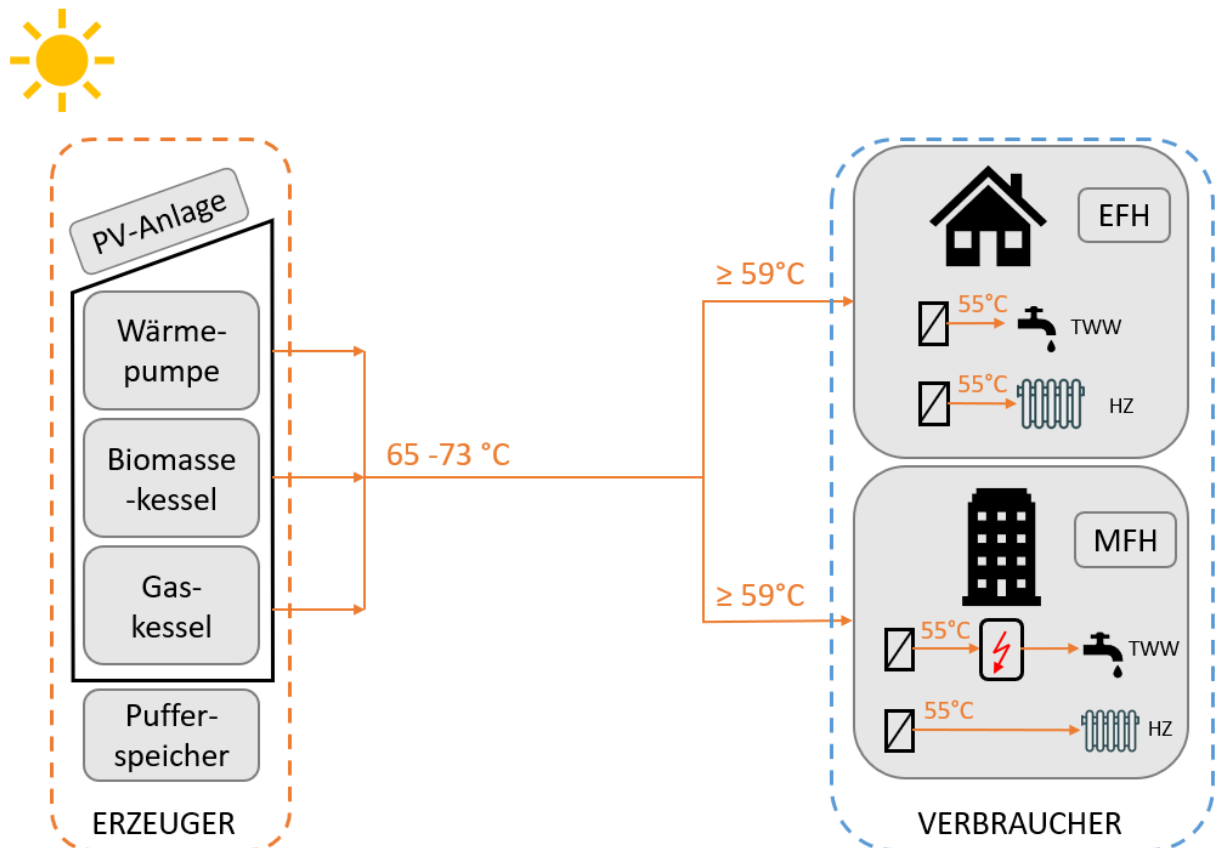


Abbildung 1: Überblick Gesamtsystem

Der allgemeine Ausgangspunkt, die Motivation und der Hintergrund für die Schaffung dieser Systemlösung sind:

- Klimafreundliche Stadtentwicklung,
- Erhöhung der Energieeffizienz in Gebäuden und Minimierung der CO₂-Emissionen,
- Grundlage für die kommunale Wärmewende sowie die energetische, städtische Entwicklung und soziale Aufwertung.

11 im Vergleich zu Berlin 2012 im Sommer eigentlich zu niedrig sind. Deshalb mussten teilweise manuelle Anpassungen an den Ergebnissen der Simulationen vorgenommen werden. Die Laufzeiten der Wärmepumpe können in InnoNEX weder durch gewisse Uhrzeiten noch durch Außentemperaturen begrenzt werden. Auch würde die Wärmepumpe im Sommer bei Wetterzone 11 aufgrund der niedrigen Temperaturen kaum laufen und somit nicht realitätsgemäß abgebildet werden. Somit mussten die genannten Grenzen des Simulationsprogramms zu Gunsten der Realitätsnähe zusätzlich manuell berichtigt werden.

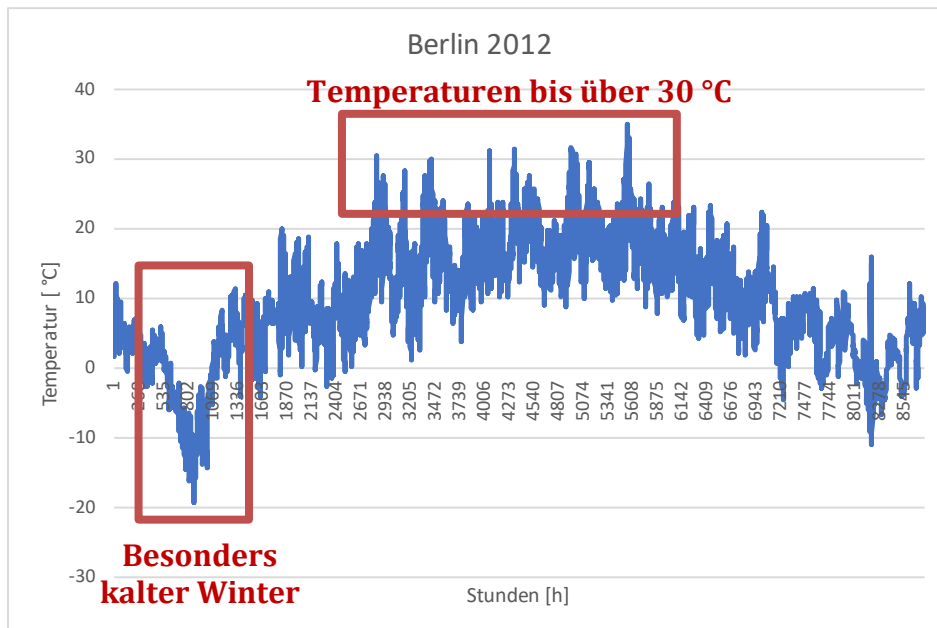


Abbildung 3: Diagramm Wetterdaten/Temperaturverlauf Berlin 2012

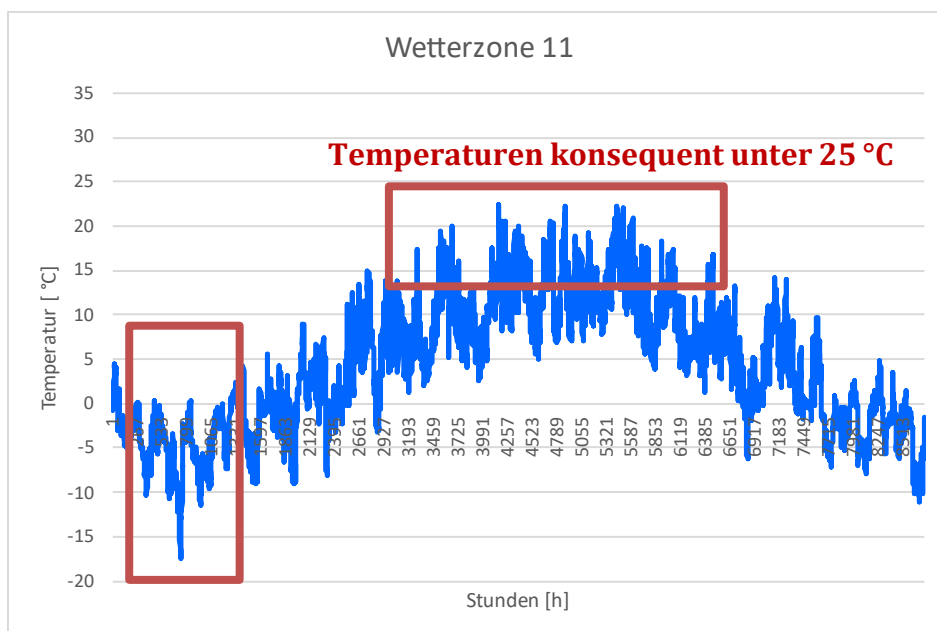


Abbildung 4: Diagramm Wetterdaten/Temperaturverlauf Wetterzone 11

2.3 Wärmebedarf

Insgesamt befinden sich 159 Gebäude im BA 1. Davon sind 158 Wohnhäuser und 1 öffentliches Gebäude. Die 158 Wohnhäuser gliedern sich wiederum in 3 Mehrfamilienhäuser (MFH) und 155 Häuser, welche zur Gruppe der Einfamilien-/Reihenhäuser bzw. Doppelhaushälften (EFH/RH/DHH) zählen. Bei 73 Eigentumseinheiten der 155 EFH/RH/DHH liegen Verbrauchsdaten vor. Für die übrigen 82 Einheiten können analoge Werte abgeleitet werden.

Für die verschiedenen Gebäudetypen wurde jeweils der jährliche Wärmebedarf ermittelt und schlussendlich aufsummiert (siehe *Tabelle 1*). Bei diesen Werten handelt es sich allerdings um den reinen Verbraucherbedarf, wobei Netzverluste auf dem Weg vom Erzeuger zum Verbraucher noch nicht berücksichtigt sind.

Tabelle 1: Gesamtwärmebedarf

EFH/RH/DHH (Bedarf erfasst)	1.469.513 kWh	45 %
EFH/RH/DHH (Bedarf analog)	1.555.200 kWh	47 %
MFH	167.200 kWh	5 %
Öff. Gebäude (Haus Eichkamp)	82.300 kWh	3 %
Summe Wärmebedarf	3.274.213 kWh	

Die unterschiedlichen Wärmebedarfe lassen sich jeweils in den Bedarf für Heizung (HZ) (siehe *Tabelle 2*) und den Bedarf für Trinkwarmwasserbereitung (WW) (siehe *Tabelle 3*) unterteilen.

Tabelle 2: Wärmebedarf Heizung

EFH/RH/DHH (Bedarf erfasst)	1.294.313 kWh
EFH/RH/DHH (Bedarf analog)	1.358.400 kWh
MFH	152.000 kWh
Öff. Gebäude (Haus Eichkamp)	82.300 kWh
Summe Wärmebedarf HZ	2.887.013 kWh

Tabelle 3: Wärmebedarf Warmwasser

EFH/RH/DHH (Bedarf erfasst)	175.200 kWh
EFH/RH/DHH (Bedarf analog)	196.800 kWh
MFH	15.200 kWh
Öff. Gebäude (Haus Eichkamp)	0 kWh
Summe Wärmebedarf WW	387.200 kWh

Besonders interessant für die Betrachtung der Auslegung des Netzes ist die Wärmeleistung für die Warmwasserbereitung, da diese sich in der nötigen Dauerlast widerspiegelt. Denn im Gegensatz zur Heizung wird Warmwasser das ganze Jahr über benötigt, Sommer wie Winter. Als Heizgradgrenze wird eine Außentemperatur von 15 °C festgelegt.

Das bedeutet, dass bei Temperaturen über 15 °C die Heizung in den Häusern abgeschaltet wird und so lediglich die Wärme für die Warmwasserbereitung als Dauerlast weiterhin erforderlich ist.

In dem einzigen öffentlichen Gebäude des BA 1, gibt es zur Warmwasserbereitung einen elektrischen Durchlauferhitzer. Deshalb liegt die für die Dauerlast relevante Warmwasserwärmeleistung des Wärmenetzes hier bei 0 kW (siehe *Tabelle 3*). Dementsprechend ist dieses Gebäude für diese Betrachtung nicht weiter relevant.

Grundlage der Berechnungen zum Trinkwarmwasser-Wärmebedarf in den 158 Wohneinheiten ist die Annahme, dass durchschnittlich 3 Personen in einem Haushalt leben. Auf Basis von Erfahrungswerten wird ein Wärmebedarf von 800 kWh/Person in einem Jahr angenommen.

Zusammenfassend ergeben sich auch unter der Berücksichtigung der Netzverluste die in *Tabelle 4* dargestellten Wärmebedarfe, Wärmeleistungen und Vollbetriebsstunden (Vbh) auf Verbraucherseite.

Tabelle 4: Zusammenfassende Verbraucherdaten

Gebäudetyp	Leistung [kW]	Wärmebedarf [kWh]	Vbh [h/a]
EFH/RH/DHH (gesamt)	2.077	3.024.713	1.456
MFH	115	167.200	1.459
Öff. Gebäude	57	82.763	1.447
Gesamt Verbrauch	2.249	3.274.676	1.454
Netzverlust	36	315.360	
Gesamt Jahresarbeit	2.285	3.590.036	

2.4 Beurteilung des Anschlusses der Gärtnerei

Der Einbindung der Gärtnerei als Großverbraucher mit einem Wärmebedarf von ca. 1,2 Mio. kWh im Jahr stehen einige aussagekräftige Argumente entgegen. Eine Einbindung dieses Wärmegroßverbrauchers würde den Spielraum zur Realisierung eines NT-Netzes im Wohngebiet stark einschränken. Denn die von der Gärtnerei benötigte Vorlauf-temperatur von ca. 80 °C übersteigt die Vorlauf-temperatur des NT-Netz von 65 °C wesentlich. Zudem würde die Bürgerenergiegenossenschaft ihren Charakter als Verbraucher-genossenschaft verlieren und die Funktion eines Wärmecontractors einnehmen. Angesichts der bereits bei den Schulen auffallend geringen Wärmeversorgungskosten von 5,0 ct/kWh ist mit einem ähnlich geringen Kostenniveau bei der Gärtnerei zu rechnen. Eine Anbindung an das entstehende neue Netz würde zu steigenden

Wärmeversorgungskosten für die Gärtnerei führen. Darüber hinaus wurde als Grundsatz der Projektfinanzierung im Arbeitskreis Energie (AK Energie) vereinbart, dass die Anschlussnehmer die Hausanschlusskosten vollumfänglich selbst tragen. Dies würde im Falle der Gärtnerei bei einer Hausanschlussleitung mit einer Länge von ca. 1 km Kosten von ca. 550.000 € bedeuten. Hinzu käme noch ein Baukostenzuschuss, um zu gewährleisten, dass die Bürgerenergiegenossenschaft nicht in finanzielle Vorleistung gehen muss. Denn nur so könnten die Kosten für eine größere Dimensionierung der Hauptleitung sowie die Errichtung größerer Wärmeerzeugeranlagen kompensiert werden. Allerdings ist derzeit nicht damit zu rechnen, dass eine derartige Mitfinanzierung von der Gärtnerei getragen werden würde.

Ein Vorschlag, um diesem Großverbraucher mit spezifischen Betriebsbedingungen gerecht zu werden, ist eine objektbezogene Wärmegegewinnung aus erneuerbaren Energien unter Berücksichtigung der vielen gebäudenahen Flächen, welche für eine Erdwärmegegewinnung eine energie- und kosteneffiziente sowie sichere Lösung darstellt. Jedoch wird dieses Projekt in der hier vorliegenden Studie aufgrund der vorherrschenden Priorisierung des Wohngebietsnetzes nicht näher betrachtet. Im Fokus liegen die Planungen und Berechnungen für BA 1. Die nachhaltige Wärmeversorgung der Gärtnerei kann jedoch zu einem späteren Zeitpunkt genauer beleuchtet werden.

3 Temperaturfestlegung

3.1 Netz

Die zukünftige Fernwärmegenossenschaft möchte ihren Mitgliedern folgende hausesseitig verfügbaren Heizwassertemperaturen zusichern:

In den Sommermonaten, wenn die Fernwärme lediglich für die Warmwasserbereitung benötigt wird, 55 °C. In den Monaten, in denen für den Betrieb der Raumheizkreise bei kälteren Außentemperaturen höhere Heizwassertemperaturen benötigt werden, 65 °C. Die Einhaltung dieser Temperaturzusagen an die Wärmeverbraucher bildet sich in der Konzeption der Netzbetriebsweise folgendermaßen ab:

In den Sommermonaten wird eine Netzvorlauftemperatur von 65 °C angestrebt. Im Zusammenhang mit der besonderen technischen Ausführung der Warmwasserbereitung werden Rücklauftemperaturen von ungefähr 50 °C erwartet.

In den Wintermonaten wird die Netzvorlauftemperatur außentemperaturabhängig ansteigen auf bis zu 73 °C. Es werden Rücklauftemperaturen von 50 °C angenommen.

Wenn im mit Fernwärme versorgten Gebäudebestand die Sanierung so weit fortgeschritten ist, dass die Raumheizkreise auch bei tiefen Außentemperaturen durchgängig mit 55 °C die gewünschte Raumwärme liefern, dann kann das Wärmenetz auch im Winter mit einer Vorlauftemperatur von 65 °C betrieben werden.

Die Wärmetauscher in den Fernwärmeübergabestationen werden so ausgelegt, dass beim Übergang der Wärme von der Primär- auf die Sekundärseite lediglich 4 Kelvin an Temperatur verloren werden.

3.2 Trinkwarmwasser

In den Einfamilienhäusern ist die vereinbarte sekundärseitige Temperatur von 55 °C als Zieltemperatur für die Zirkulation ausreichend für die Trinkwasserhygiene, weshalb hier unter Berücksichtigung der 3-Liter-Regel (DVGW) nicht zwingend weitere Maßnahmen ergriffen werden müssen.

Die Versorgung der Mehrfamilienhäuser über das NT-Netz ist jedoch mit einer vertieften Betrachtung im Bereich der Trinkwarmwasserhygiene verbunden. Gerade in MFH und kommunalen Gebäuden sind laut DVGW Richtwerte einzuhalten, welche eine ausreichende Hygiene im Bereich des Trinkwarmwassers sicherstellen. Unter anderem müssen hier definierte Temperaturen eingehalten werden, um die Bildung und Vermehrung von Legionellen zu vermeiden. Auf Grundlage der zuvor genannten Richtlinie muss für die Trinkwarmwassererwärmung eine Temperatur von mindestens 60 °C gewährleistet werden. Um in den MFH einer möglichen Legionellenbildung entgegen zu wirken, ist für diese Häuser ein Speicherladesystem vorgesehen, welches mittels eines zusätzlichen elektrischen Heizstabs die Temperatur auf max. 70 °C erhöhen kann.

Neben der Wasserhygiene gibt es einen weiteren Grund für den geplanten Wärmespeicher in den MFH. Im Vergleich zu den EFH gibt es mehr Bewohner, welche auch bei gleichzeitigem Warmwasserbedarf ausreichend versorgt werden müssen. Um eine lückenlose Warmwasserhygiene zu gewährleisten, ist es sinnvoll, das Warmwasser nach dem Wärmtauscher in einen Speicher (Vorlagespeicher) zu leiten, wo es im Bedarfsfall ergänzend mit dem bereits genannten Heizstab aufgeheizt werden kann.

4 Wärmenetz

4.1 Aufbau des Niedertemperatur-Netzes

Die Schaffung eines Niedertemperatursystems stellt einen innovativen und anspruchsvollen Planungsansatz dar. Neubauten oder durch eine gut geplante Sanierung verbesserte Gebäudestrukturen haben in ihrer Gesamtheit einen geringeren Wärmebedarf. Maßgebend ist das niedrigere Temperaturniveau, welches für das Heizsystem zur Verfügung gestellt werden muss. Hintergrund sind hier nach aktuellem Stand der Technik verwendete Heizsysteme wie Flächenheizungen oder eine in den Bestandgebäuden angepasste Heizkurve, die eine brennwertgeeignete Heizungsvorlauftemperatur von 50 - 55 °C gewährleistet.

Die Versorgung des Netzes erfolgt über den Anschluss an eine neu zu errichtende Heizzentrale in der die niedrigeren Vorlauftemperaturen von 65 – 73 °C erzeugt werden.

4.2 Trassen des NT-Netzes

Im Rahmen der hydraulischen Berechnung werden neben den Dimensionen der Rohrleitungen auch die Längen der Trassen ermittelt. Man unterscheidet hierbei in Haupttrassen, Nebentrassen und Hausanschlussleitungen. Der Trassenplan für das Eichkampviertel ist in *Abbildung 5* zu sehen. In diesem Plan finden sich die Trassen für BA 1 sowie auch ein Ausblick auf BA 2. Innerhalb der Netzdimensionierung zum BA 1 wurde bereits die Ausführung von BA 2 berücksichtigt. Zu unterscheiden sind die Bauabschnitte an den Hausanschlüssen. In den Bereichen, in denen Hausanschlüsse von der Haupttrasse abzweigen, werden die Verbraucher im Rahmen des BA 1 an das Wärmenetz angeschlossen.

Bezüglich der Materialauswahl wird mit hochgedämmten Stahldoppelrohren (KMR) mit integrierter Netzüberwachung geplant, welche besonders niedrige Wärmeverluste im Netz garantieren.

Ausblick auf BA 2:

Die verbleibenden Trassenabschnitte ohne Hausanschlüsse werden erst im Rahmen des BA 2 umgesetzt, ermöglichen aber durch die Darstellung im Plan eine erste Abschätzung des Umfangs von BA 2. Die Architektur des Netzes in BA 1 erlaubt die ausreichende Wärmeversorgung des zukünftig zu realisierenden BA 2.



Abbildung 5: Trassenplan bzw. hydraulische Berechnung

Eine korrekte Vordimensionierung und die damit verbundene Auslegung der Druckhaltung, Netzpumpen, etc. sind wichtige Elemente, um eine wirtschaftliche Betrachtung der Ausführung eines Wärmenetzes zu schärfen und zu konkretisieren. Im Ergebnis dieser Vorkonzeptionierung konnten auch die dazugehörigen Wärmeverluste in einer ersten Abschätzung berechnet werden. Die Trassenlängen von BA 1 sind in *Tabelle 5* aufgelistet.

Tabelle 5: Trassenlängen BA 1

Trassenlänge		
Typ	Dimension	Länge
Haupttrasse	DN 25	84 m
	DN 32	193 m
	DN 40	139 m
	DN 50	176 m
	DN 65	363 m
	DN 80	77 m
	DN 100	186 m
	DN 125	381 m
	DN 150	824 m
Hausanschlüsse	DN 20	1.900 m
	DN 25	196 m
	DN 32	97 m
	DN 65	20 m

Ausblick auf BA 2:

Die voraussichtlichen Mengen für die in *Abbildung 5* eingezeichneten Trassen für BA 2 sind in *Tabelle 6* aufgeführt.

Tabelle 6: Trassenlängen BA 2

Trassenlänge		
Typ	Dimension	Länge
Haupttrasse	DN 32	275 m
	DN 50	447 m
	DN 65	1560 m
	DN 80	67 m
	DN 100	53 m

5 Wärmeerzeuger und Potenziale

5.1 Wärmeerzeuger

Bei der Konstellation und Auslegung der verschiedenen Erzeuger wurde von einer unteren Auslegungsgrenze von -13 °C Tagesmitteltemperatur ausgegangen.

5.1.1 Wärmepumpe (WP)

Die Bereitstellung der Wärme für BA 1 in den Sommermonaten sowie in der Übergangszeit wird mit Hilfe einer 400 kW Luft-Wasser-Wärmepumpe (siehe *Abbildung 6*) sichergestellt.



Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung einer Wärmepumpe

Bei der Wärmepumpe wurde als untere Betriebsgrenze eine Außentemperatur von 12 °C festgelegt. Die Wärmepumpe ist in den Sommertagen grundsätzlich allein für die Wärmeversorgung zuständig. Dies hat zur Folge, dass die Wärmepumpe allein eine Vorlauftemperatur am Einspeisepunkt von 65 °C erzeugen muss. Um in der Übergangszeit eine ausreichende Temperaturversorgung sicher zu stellen, wird die Wärmepumpe so ausgelegt, dass sie auch in der Lage ist 70 °C Vorlauftemperatur zu erzeugen. Die Wärmepumpe benötigt für ihren Betrieb eine elektrische Anschlussleistung von ca. 135 kW. Ein Teil davon lässt sich durch die geplante Photovoltaik-Anlage (siehe 5.2.2) auf dem Pultdach der neuen Heizzentrale abdecken. Der restliche Strom muss aus dem öffentlichen Netz bezogen werden. Aufgrund des Energiebezugs aus dem Stromnetz sollten sich die Betriebszeiten der Wärmepumpe an dem täglich schwankenden Strompreis orientieren und so einen möglichst kostengünstigen Betrieb ermöglichen. In der Regel bedeutet dies, dass die Wärmepumpe vorrangig im Zeitfenster zwischen 9:00 Uhr und 19:00 Uhr betrieben wird. Inwieweit das Profil der Stromerzeugung durch die Photovoltaik-Anlage mit dem Profil der Wärmeerzeugung durch die Wärmepumpe zusammen passen bedarf noch einer vertieften Untersuchung und Bewertung.

Über das Jahr hinweg wird die Wärmepumpe gemäß unseren Berechnungen im Zeitraum zwischen Anfang April und Ende Oktober Wärme für das Eichkampviertel produzieren. Der berechnete Wärmeertrag der Wärmepumpe beträgt 421.600 kWh im Jahr. Dadurch können 12 % des Jahreswärmebedarfs abgedeckt werden.

5.1.2 Biomasse (BM)

Hackschnitzel-Kessel:

Deckt die Wärmepumpe den auftretenden Wärmebedarf nicht mehr ab oder wird es kälter als 12 °C schaltet sich der Biomassekessel ein. Er verfügt über eine maximale Leistung von 800 kW. Der Biomassekessel nutzt als erneuerbare Energiequelle Hackschnitzel zur Wärmeerzeugung. Eine besondere Herausforderung für die Steuerungs-/Regelungstechnik ist die Abstimmung zwischen dem Betrieb der Wärmepumpe und dem Biomassekessel. Wenig sinnvoll wäre eine exakte Temperaturgrenze anzugeben, bei der die Wärmepumpe abschaltet und der Biomassekessel den Betrieb aufnimmt. Denn über den Tag kann die Temperatur um einige Grade schwanken, was im ungünstigsten Fall zu mehrmaligen Wechseln zwischen Wärmepumpe und Biomassekessel führt. Allerdings sollte es grundsätzlich vermieden werden, einen Biomassekessel zu takten, also kurzfristig an und wieder aus zu schalten. Deshalb sollte hier ein Temperatur- bzw. Leistungsbereich angegeben werden, in welchem die Wärmepumpe vom Biomassekessel abgelöst wird. Ebenfalls gilt es die untere Leistungsgrenze von ca. 30 % der Leistung eines Biomassekessels in die Überlegungen mit einzubeziehen.

Hackschnitzelbunker:

In der Planung ist neben dem Kessel selbst, auch der nötige Hackschnitzelbunker zu berücksichtigen. Bei den zur Anwendung kommenden Hackschnitzeln handelt es sich um naturbelassene Waldhackschnitzel mit einem Wassergehalt von M 20 bis M 50. Der spezifische Heizwert H_u beträgt 2,29 kWh/kg. Das Schüttgewicht beträgt 300 kg/m³ (bei M 50). Für eine Leistung des Biomassekessels von 800 kW liegt der stündliche Verbrauch unter Volllast bei ca. 390 kg bzw. 1,3 SRM (Schüttraummeter). Der Bunker soll so ausgelegt werden, dass er genug Hackschnitzel für einen 7-Tage-Betrieb unter Volllast aufnehmen kann. Das bedeutet, gemessen an dem Wärmebedarf der Einwohner und dem Brennwert der Hackschnitzel, ein ungefähres Volumen von 200 SRM. Nun ist es hier aufgrund der Örtlichkeit nicht möglich die Hackschnitzel mit einem Lader zu transportieren oder aufzutürmen. Zudem sollen zusätzliche Fahrzeug- und Personalkosten vermieden werden. Deshalb ist es vorgesehen, dass der Liefer-LKW direkt vor den Bunker fährt und die Hackschnitzel in den Bunker abkippt. Durch die Ausführung als Unterflurbunker ergibt sich somit eine Einschlichthöhe von ca. 1,8 m. Teilt man die 200 m³ Hackschnitzel durch die Einschlichthöhe, ergibt dies eine Fläche von ca. 112 m² zur Lagerung der Hackschnitzel. Bei einer festgelegten Tiefe der Heizzentrale von 12 m berechnet sich die Länge des Hackschnitzelbunkers auf 9,5 m.

Die zulässige Brennstoff-Zusammensetzung richtet sich nach §3 der 1. BImSchV vom 22.03.2010, Nr. 4, 5, 6 und 7. Emissionen gemäß 1. BImSchV (Stufe 2).

Bezüglich der Betriebskosten des Biomassekessels wird angestrebt, nicht das Anfangsgewicht oder -volumen zu vergüten, sondern die daraus gewonnene Wärme. Je MWh Wärme ist mit einem Preis von ca. 27 € zu rechnen.

Durch den Einsatz eines Abgaswärmetauschers zur Wärmerückgewinnung aus den Abgasen des Biomassekessels reduziert sich die Wärmemenge, welche aus Hackschnitzeln

erzeugt werden muss, um ca. 8 %. Vor diesem Hintergrund ergibt sich eine Menge von ca. 3890 m³ Hackschnitzel, die in einem Jahr benötigt werden.

Austragung Hackschnitzel:

Die Hackschnitzel werden aus dem Bunker über einen hydraulisch betriebenen Vorschubrost (Stoker) in den Kessel gefördert, wo sie vom Brenner verbrannt werden. Die entstehende Wärme wird durch einen Wärmetauscher weitergegeben.

5.1.3 Gas-Brennwertkessel

Die beiden zusätzlichen Gas-Brennwertkessel mit einer Leistung von jeweils 900 kW werden mit der fossilen Energiequelle Erdgas betrieben. Jedoch liegt die Priorisierung klar auf dem Biomassekessel. Das bedeutet, die beiden als Kaskade gebauten Gaskessel schalten sich nacheinander hinzu, wenn die 800 kW des Biomassekessels den Wärmebedarf nicht mehr abdecken. Sobald die Lastspitze ausgeglichen wurde oder der Verbrauch zurück geht, schalten sich die Gaskessel wieder aus. Man spricht hier von taktenden Gaskesseln.

Der Hintergrund für die Planung von zwei Gaskesseln mit je 900 kW anstelle eines einzelnen Kessels mit 1,8 MW ist, dass bei Gaskesseln die untere Leistungsgrenze/der untere Modulationspunkt bei ca. 30 % der maximalen Leistung liegt. Bei einem 1,8 MW Kessel liegt dieser Punkt bei ca. 540 kW. Bei den einzelnen 900 kW Kesseln liegt diese Grenze wesentlich geringer bei 150 - 270 kW. Das beutet für das System einen Gewinn an Flexibilität. So kann bereits bei einer leichten Überlastung des Biomassekessels ein Gaskessel mit 150 kW unterstützen und produziert nicht bei Betriebsaufnahme sofort eine Überlast. Die recht hohe Leistung der Gaskessel von insgesamt 1,8 MW ist darauf zurück zu führen, dass im Falle eines Ausfalls des Biomassekessels (Defekt, Wartung, etc.) die Gaskessel die Wärmeversorgung des Netzes übernehmen.

5.1.4 Pufferspeicher

Für das Gesamtsystem wird ein Pufferspeicher mit einer Wärmekapazität von ca. 900 kW vorgesehen. Die Speicherkapazität ist für BA 1 sowie BA 2 ausgelegt. Die Ladung des Speichers erfolgt durch die Wärmepumpe bzw. den Biomassekessel. Die Gaskessel dienen in ihrer Funktion als Spitzenlastausgleich nicht als Wärmequelle für den Pufferspeicher. Die genannte Kapazität von ca. 900 kW entspricht einem Wasservolumen von ca. 200 m³. Da ein einzelner Speicher jedoch enorme Ausmaße annehmen und entsprechend teuer sowie optisch auffällig wäre, wird die Wärmespeicherung in Form von zwei kleineren Pufferspeichern mit jeweils ca. 100 m³ (bauartabhängig) umgesetzt. Ein beispielhafter Pufferspeicher ist in *Abbildung 7* und *Abbildung 8* dargestellt.

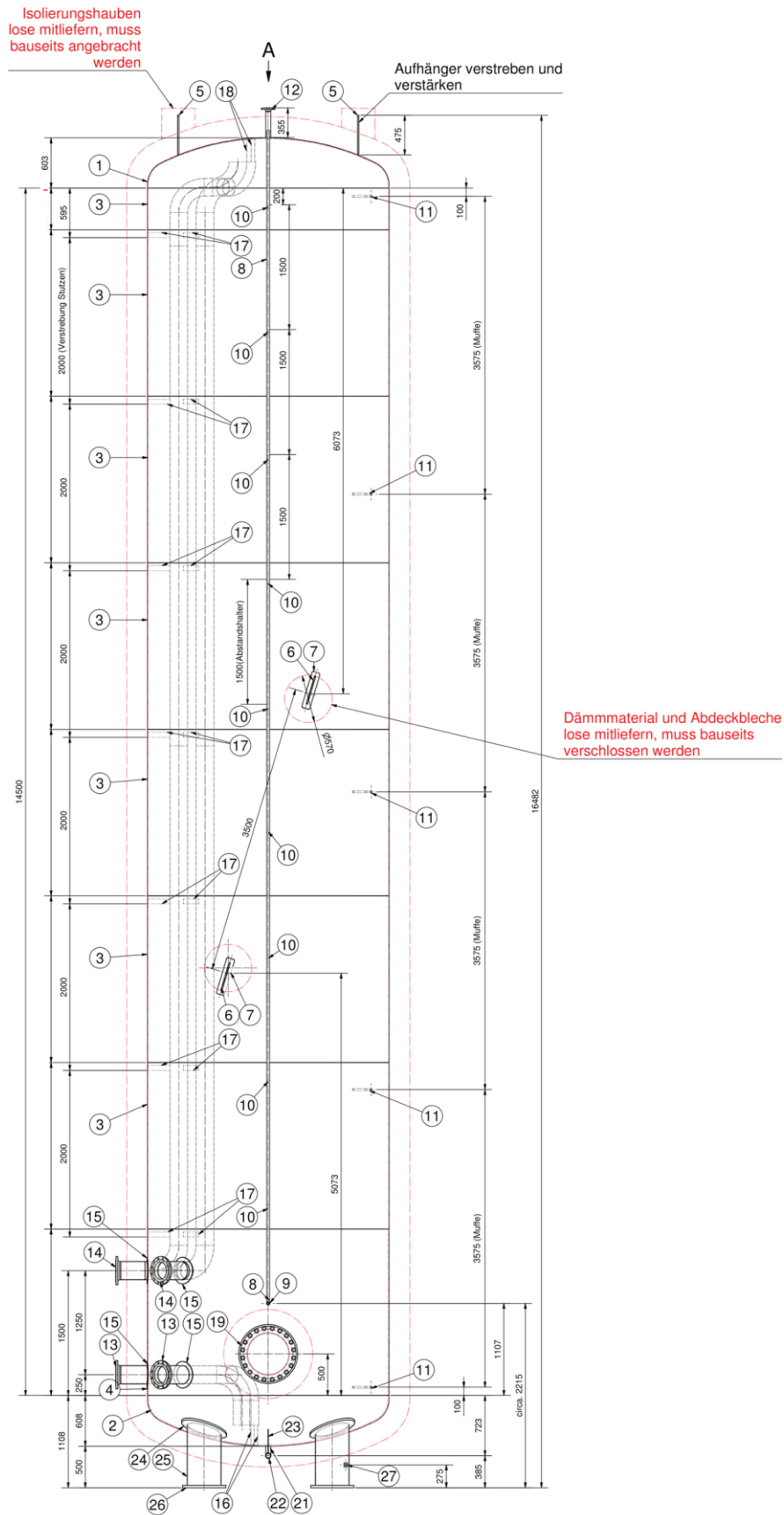


Abbildung 7: Pufferspeicher Vertikalschnitt

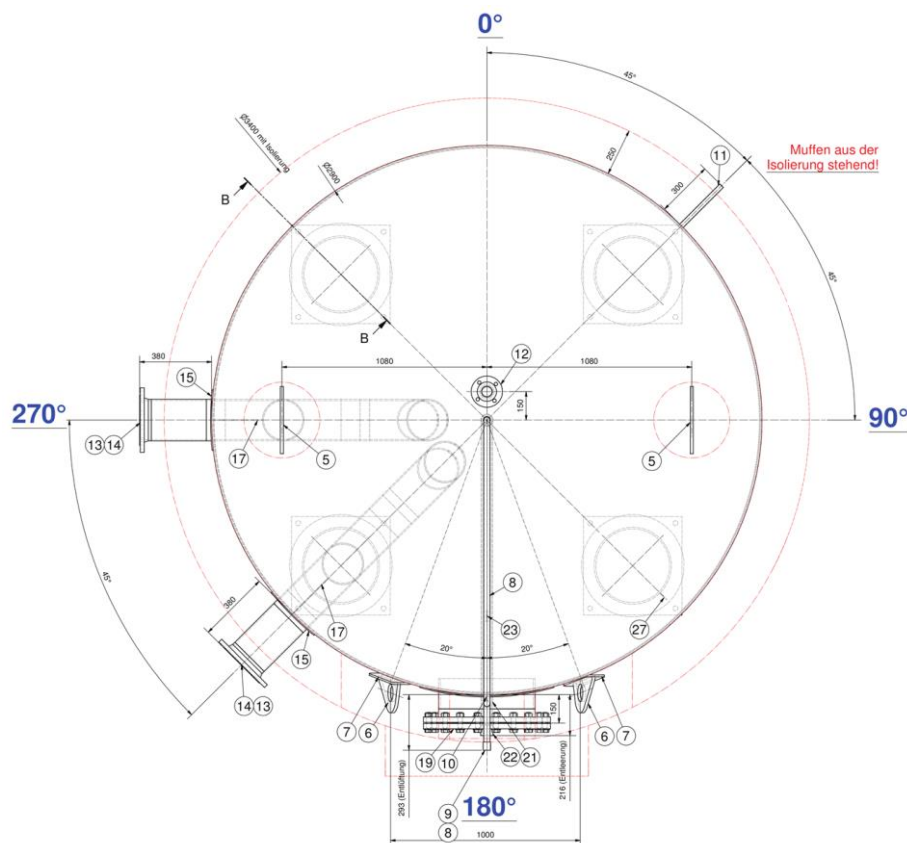


Abbildung 8: Pufferspeicher Horizontalschnitt

5.1.5 Überblick Erzeuger

Zusammenfassend sind in den nachfolgenden Tabellen die Erzeuger mit den entsprechenden Leistungen und den benötigten Brennstoffen unterteilt nach Sommer und Winter für BA 1 aufgelistet. Der Pufferspeicher ist in seiner Funktion als Wärmeverbraucher sowie auch als Wärmeerzeuger zu betrachten und wird deshalb in den nachfolgenden Tabellen nicht aufgeführt.

In den Übergangszeiten Frühling und Herbst ist, wie unter Absatz 5.1.1 und 5.1.2 bereits beschrieben, ein Mischbetrieb von Wärmepumpe und Biomassekessel möglich.

Tabelle 7: Erzeuger BA 1 Sommer

Pos.	Erzeuger	Brennstoff	Leistung
1	Wärmepumpe		400 kW
Gesamterzeugerleistung Sommer BA 1			400 kW

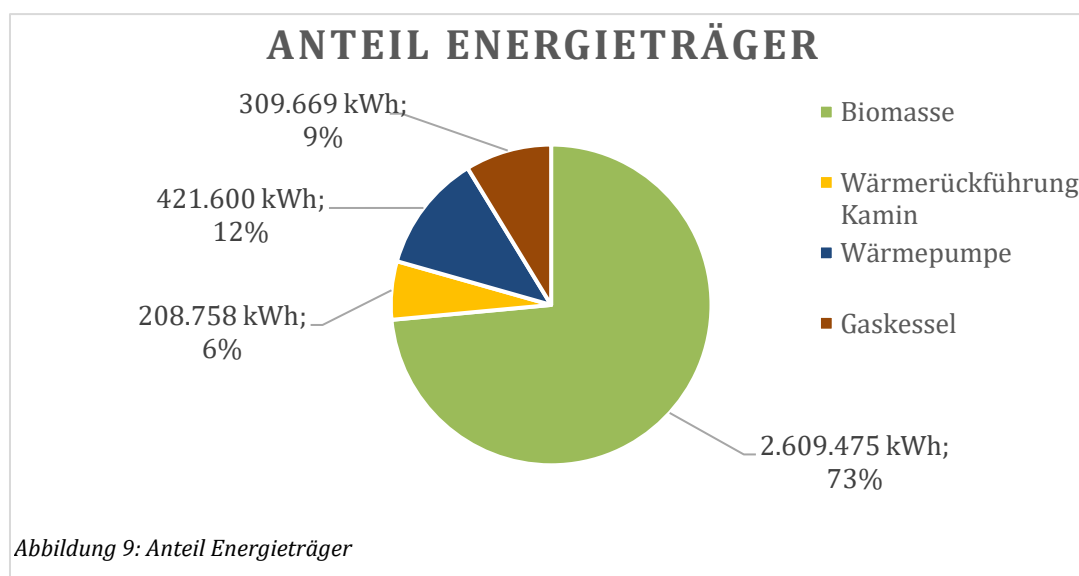
Tabelle 8: Erzeuger BA 1 Winter

Pos.	Erzeuger	Brennstoff	Leistung
1	Biomassekessel	Biomasse	800 kW
2	Gas-Brennwertkessel	Erdgas	900 kW
3	Gas-Brennwertkessel	Erdgas	900 kW
Gesamterzeugerleistung Winter BA 1			2.600 kW

Die Erzeuger wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie als Gesamtsystem betrachtet und in die Erzeugersimulation mit aufgenommen. Die Resultate dieser Simulation sind in *Tabelle 9* dargestellt. Wie bereits angesprochen läuft die Wärmepumpe in den Sommermonaten und in der Übergangszeit bei Temperaturen über 12 °C. So stellt die Wärmepumpe bei 1.054 Vollbenutzungsstunden (Vbh) 12 % des Jahreswärmebedarfs zur Verfügung. Der Biomassekessel deckt insgesamt 79 % des Wärmebedarfs ab. Von den beiden Gaskesseln dient ein Kessel als Reserve- und Spitzenlast sowie Ausfallsicherheit. Die anteilige Wärmeerzeugung der einzelnen Erzeuger ist in *Abbildung 9* grafisch veranschaulicht.

Tabelle 9: Ergebnisse Erzeugersimulation

Wärmepumpe (400 kW)	Aktive Stunden [h/a]	1.054
	Wärmeertrag [kWh]	421.600
	Vbh [h/a]	1.054
	Wärmeanteil [%]	12
Biomassekessel (800 kW)	Aktive Stunden [h/a]	4.554
	Wärmeertrag [kWh]	2.818.233
	Vbh [h/a]	2.847
	Wärmeanteil [%]	79
Gaskessel (900 kW)	Aktive Stunden [h/a]	524
	Wärmeertrag [kWh]	309.669
	Vbh [h/a]	344
	Wärmeanteil [%]	9
Gaskessel (900 kW)	Aktive Stunden [h/a]	0
	Wärmeertrag [kWh]	0
	Vbh [h/a]	0
	Wärmeanteil [%]	0



5.2 Heizzentrale

5.2.1 Wärmetechnische Anlagen

Die von den Erzeugern generierte Wärme wird im Sommer von einer Sommerpumpe in das Netz eingebracht.

Im Winter übernehmen zwei Winterpumpen die Versorgung des Netzes. Jede Pumpe kann 75 % der Volllast des Netzes im Winterbetrieb abdecken. Das bedeutet, dass eine Pumpe bis an ihre Leistungsgrenze arbeitet und die zweite dann im Bedarfsfall zusteuert. Zudem arbeiten die Pumpen im Wechselbetrieb, um längere Stillstandzeiten einer einzelnen Pumpe zu vermeiden.

Alle Pumpen werden über Frequenzumrichter drehzahl geregelt betrieben. Die der Berechnung zugrunde liegende Volllast umfasst sowohl BA 1 als auch BA 2. Somit ist für eine Erweiterung der Heizzentrale im Rahmen des 2. Bauabschnittes im Bereich der wärmetechnischen Anlagen vorgesorgt.

5.2.2 Photovoltaik-Anlage

Durch die geplante Photovoltaik-Anlage (PV-Anlage) auf dem Dach der Heizzentrale mit einer Fläche von 380 m² wird der Strombedarf für die Anlagen zum Betrieb des Wärmenetzes auf umweltfreundliche Weise abgedeckt. Bei einer Fläche von ca. 6 m²/kWp ergibt sich eine mögliche Leistung der PV-Anlage von ca. 63 kWp. Dadurch lässt sich auch die WP im Sommer zumindest teilweise mit dem Strom aus der PV-Anlage betreiben. Wie jedoch bereits unter Punkt 5.1.1 angesprochen, bedarf dies einer vertieften Untersuchung.

5.2.3 Anschlüsse

Viele Komponenten in der Heizzentrale benötigen für ihre Funktion einen Stromanschluss. Beim Blick in die anlagenspezifischen Datenblätter ergibt sich insgesamt eine elektrische Anschlussleistung von ca. 180 kW für die Heizzentrale.

Darüber hinaus muss für die Gaszufuhr der Gaskessel die vorgelagerte Mitteldruckgasleitung herangezogen werden, indem von der bestehenden Leitung zur Heizzentrale eine neue Leitung gelegt wird. Dabei ist zu beachten, dass eine Unterverteilung für den Übergang des gegebenen Mitteldrucks auf den für die Gaskessel passenden Niederdruck notwendig ist. Die Kosten dafür wurden in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt.

5.2.4 Entwurfsplanung Heizzentrale

Ein Grundrissentwurf der Heizzentrale ist in *Abbildung 10* dargestellt. Die Außenmaße des Gebäudes belaufen sich auf 29 m Breite und 13 m Tiefe. Im Wesentlichen unterteilt sich die Heizzentrale in zwei Bereiche: den Hackschnitzelbunker und der Raum mit den Wärmeerzeugern und dazugehörigen technischen Anlagen. Den Transport der Hackschnitzel vom Bunker zum Heizkessel (Austragung Hackschnitzel) übernimmt ein hydraulisch betriebener Vorschubrost. In dem Raum mit den wärmetechnischen Anlagen sind folgende Komponenten berücksichtigt:

- 1 x Wärmepumpe
- 1 x Biomasse-Kessel + Austragung der Hackschnitzel
- 2 x Gas-Brennwertkessel
- Druckhaltung
- Pumpen
- Verteiler
- Schaltschränke
- Stromanbindung
- Kamine

Aufgrund der Pufferspeicherhöhe von ca. 16,5 m werden diese hier nicht in der Heizzentrale, sondern daneben platziert.

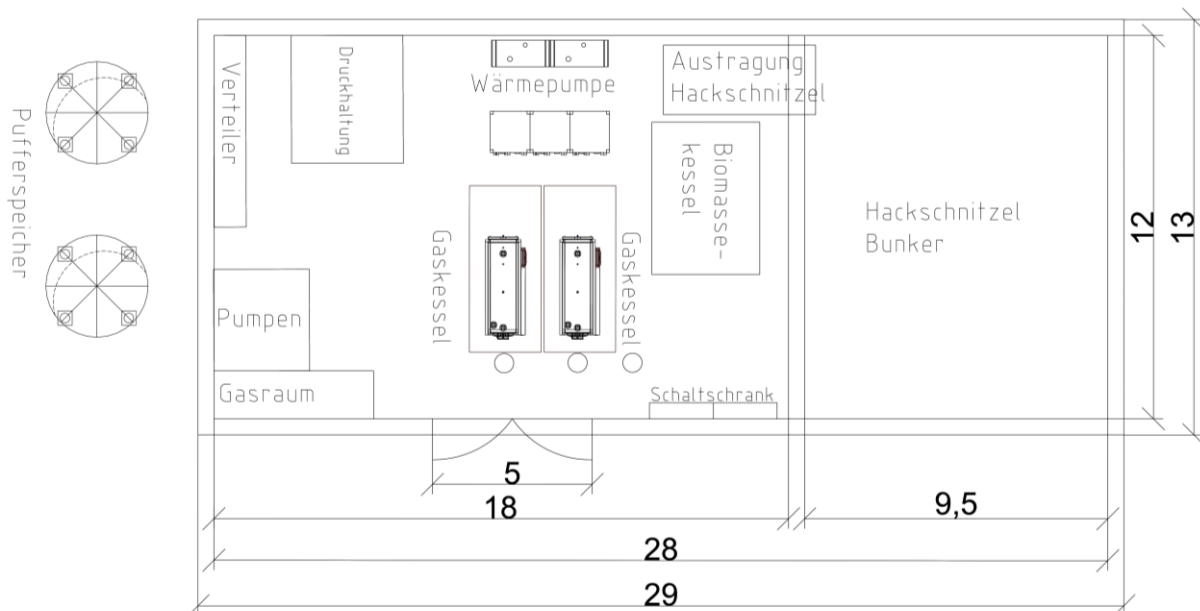


Abbildung 10: Grundrissentwurf Heizzentrale

Zur Veranschaulichung der Höhenmaße der Zentrale ist in *Abbildung 11* eine seitliche Ansicht mit Blick in das Gebäudeinnere zu sehen. Die Gesamthöhe des Gebäudes ohne Kamine beläuft sich auf 9,8 m. Die 8° Dachneigung des Pultdachs hat Auswirkungen auf die geplante Photovoltaik-Anlage. Bei der Planung der Kamine wurde darauf geachtet, dass diese sich in einer Linie im oberen Bereich des Dachs befinden.

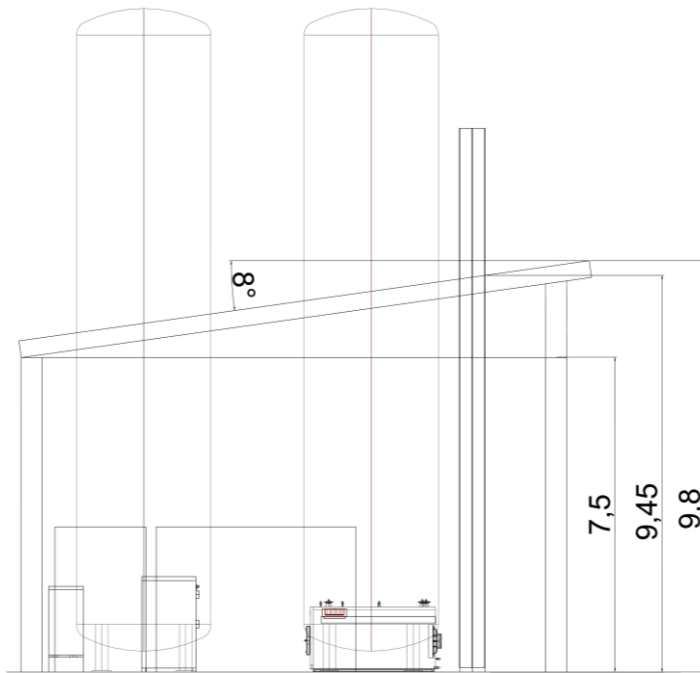


Abbildung 11: Seitenansicht Heizzentrale

Ausblick auf BA 2:

Für BA 2 wird ein zusätzlicher Erzeuger benötigt. Voraussichtlich wird es sich dabei um einen Biomassekessel handeln. Die Bauweise der Heizzentrale bietet deshalb die Möglichkeit das Gebäude entsprechend seitlich zu erweitern. Insbesondere ist hier angedacht das Gebäude für BA 2 auf der Außenseite des Bunkers aus BA 1 zu spiegeln, sodass der neue Bunker direkt an den bestehenden angrenzt. Dies vereinfacht den Belieferungsvorgang der beiden Biomassekessel.

5.2.5 Pachtkosten

Für die Heizzentrale wurde eine Grundstücksfläche von 1500 m^2 berechnet. Um damit verbundene Kosten in der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu berücksichtigen wird ein symbolischer Wert in Höhe von 1 €/m^2 im Jahr als Pachtkosten angenommen. Damit ergeben sich Pachtkosten in Höhe von 1500 €/m^2 im Jahr für das Grundstück der Heizzentrale.

5.3 Verortung der Erzeuger



Abbildung 12: Übersichtskarte

In *Abbildung 12* ist links unten „Neuer Standort HZ (Biomasse & Gaskessel)“ zu erkennen. Hier wird die für BA 1 notwendige Heizzentrale mit Biomassekessel und Gas-Brennwertkessel platziert. Die geplante Photovoltaik-Anlage für die Stromversorgung der wärmetechnischen Anlagen wird auf dem Dach dieser Heizzentrale installiert.

5.4 Sonderfall Schulen (Abschaltlast)

Darüber hinaus gibt es im Eichkampviertel neben den bereits aufgelisteten Erzeugern noch weitere Gaskessel in den beiden Schulen. Hier wurde die Regelung festgelegt, dass die Schulen im Rahmen des BA 1 als Verbraucher mit jeweils einer Wärmeübergabestation an das Wärmenetz angeschlossen werden. Die Schulen werden jedoch nur dann von dem Netz versorgt, wenn im Netz ein Wärmeüberschuss herrscht oder noch Potenzial aus dem Biomassekessel zur Verfügung steht. Zu Zeiten der maximalen Auslastung des Wärmenetzes, ist es unter Umständen nötig, die Versorgung aus dem Netz zu unterbrechen (Abschaltlast) und die vorhandenen Kessel der Schulen zur Wärmeversorgung der Schulen einzusetzen. Eine belastbare Bemessung der Gesamtkosten bezüglich der Schulen ist für die nächste Planungsphase vorgesehen.

Ausblick auf BA 2:

Sollte in BA 2 der Bedarf dafür bestehen, gibt es die Möglichkeit die Schulen neben der beiden bereits vorhandenen Gas-Brennwertkessel mit zusätzlichen Gaskesseln mit voraussichtlich 1,4 MW Gesamtleistung auszustatten. Diese würden als Reserve- und Spitzenlast sowie als Ausfallsicherheit für den BA 2 dienen. Die mögliche Leistung von 1,4 MW entspricht der aktuell vorhandenen ungenutzten Kapazität, die die nahegelegene Gas-Station bietet. Diese Kapazität könnte dann zusammen mit den bestehenden Kesseln in den Schulen zur Versorgung des Netzes beitragen, wenn der Wärmebedarf der Schulen gedeckt ist und ein Wärmeüberschuss besteht.

6 Wärmeübergabestationen

Wie bereits unter 3.2 angesprochen, stellt eine niedrigere Netztemperatur eine Herausforderung für die Gewährleistung der Trinkwasserhygiene dar. Zur Abtötung der gesundheitsschädlichen Legionellen, sind die Temperaturen gemäß DVGW zwingend einzuhalten. Im Rahmen der Planung der Wärmeübergabestationen (siehe *Abbildung 13*) müssen sowohl die mit den Kunden vereinbarten als auch die gesundheitlich notwendigen Temperaturen entsprechend umgesetzt werden.

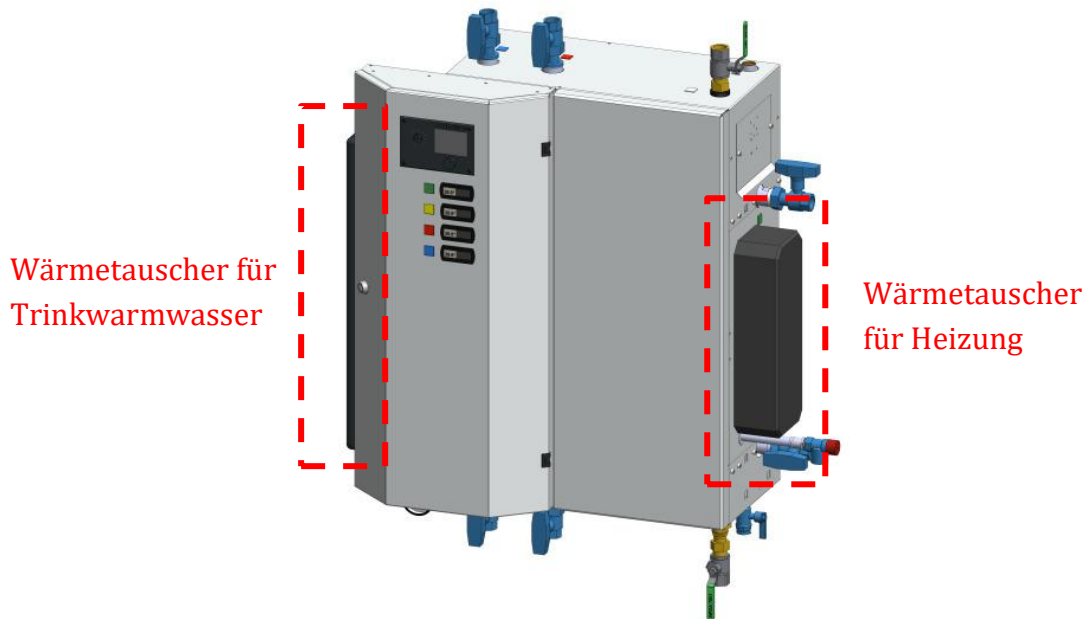


Abbildung 13: Wärmeübergabestation

Für die Einfamilienhäuser genügt eine Wärmeübergabestation mit einem Wärmetauscher mit einer Grädigkeit von max. 4 K. So ist bei einer minimalen Temperatur im Netz von 59 °C eine minimale Temperatur von 55 °C auf der Gebäudeseite garantiert.

Wärmeübergabestationssystem Einfamilienhäuser:

- Alle Anlagenteile sind im jeweiligen Gebäude verortet.
- Ein integriertes Frischwassermodul sorgt für die Trinkwarmwasserbereitung.
- Es ist eine Grädigkeit des Wärmetauschers auf der Vorlauf-Seite von max. 4 K erforderlich.

In den drei Mehrfamilienhäusern soll ein Speicherladesystem installiert werden. Somit kann eine höhere maximale Schüttleistung der Warmwassererzeugung sichergestellt werden.

Wärmeübergabestationssystem Mehrfamilienhäuser:

- Alle Anlagenteile sind im jeweiligen Gebäude verortet.
- Ein in der Übergabestation integriertes Frischwassermodul sorgt für die Bereitstellung von Trinkwarmwasser.

- Ein Pufferspeicher (siehe *Abbildung 14*) mit elektrischem Heizstab (siehe *Abbildung 15*) unterstützt die Trinkwarmwasserbereitung unter Aspekten der Trinkwarmwasserhygiene.



Abbildung 14: Trinkwarmwasserspeicher



Abbildung 15: Elektrischer Heizstab

- Es ist ein Wärmetauscher mit einer Grädigkeit von max. 4 K auf der Vorlauf-Seite erforderlich.

7 Wirtschaftlichkeitsberechnung

7.1 Festlegung von Berechnungsparametern

Im Rahmen der Konzipierung der Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden spezifische wirtschaftliche Parameter festgelegt.

7.1.1 Allgemeine Festlegungen

Methode	Die Wirtschaftlichkeitsberechnung richtet sich nach dem Verfahren der VDI 2067. Hier werden die Berechnungen und Bewertungen des Energieaufwands der Wärmeerzeuger geregelt. Dafür werden in erster Linie die jährlichen Annuitäten ¹ der Erzeuger und Trassen sowie die Wärmegestehungskosten ausgewiesen.
Kalkulationszeitraum	Der Betrachtungszeitraum aller Projektkomponenten wurde auf 20 Jahre, beginnend mit dem Jahr 2021, festgelegt.
Zinssatz	Der kalkulatorische Zinssatz wurde auf 2,5 % fixiert. Als Zinssatz für den Bezug von Fremdkapital wurde ein Wert von 1,7 % angesetzt.
Inflation/Preissteigerung	Die stetige Preissteigerung durch die Inflation wird mit einem Prozentsatz von 2,0 % in die Berechnungen mit einbezogen. Dies wirkt sich auf die jährlichen betriebs- und bedarfsgebundenen Kosten aus. Ebenso wird die Preissteigerung für Investitionskosten für Gebäude, Erzeuger und Trassen berücksichtigt.
Förderung	Zur finanziellen Unterstützung der Umsetzung des Projektes wird das neue Förderkonzept „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze“ BEW herangezogen, welches eine investive Grundförderung von 40 % für Projekte dieser Art offeriert.
Zuschuss	Für den Bau der Hausanschlussstrassen werden Zuschüsse in Höhe von 12.000 € brutto je Hausanschluss veranschlagt.
Bezugsjahr	Das Jahr 2021 wird den Berechnungen als Basisjahr zugrunde gelegt.

¹ Regelmäßige Zahlung, durch die ein Darlehen in er festgelegten Laufzeit getilgt wird; besteht aus Zinszahlung und Tilgungszahlung; Anteil an Zinszahlung sinkt, Tilgungszahlung steigt im Laufe der Zeit;

Planungskosten	Die Planungskosten werden zu verschiedenen Anteilen auf die einzelnen Investitionsgüter verteilt. Die genauen Werte sind in Absatz 7.1.2 nachzulesen.
Personalkosten	Für die Erzeuger mit einer notwendigen Bedienzeit werden Personalkosten in Höhe von 60 €/h angenommen.
Strompreis	In gemeinsamer Abstimmung wurde ein Strompreis (Mix aus PV und Netzstrom) für das Netz und die Wärmepumpe von 18 ct/kWh veranschlagt.
CO ₂ -Bepreisung	Für das Jahr 2025 wurde von Seiten der Bundesregierung ein Preis von 55 €/t CO ₂ vorgegeben. Diese Bepreisung betrifft lediglich die Wärmeherzeugung durch den Gaskessel. Als Bezugsgröße wird hier gemäß GEMIS das CO ₂ -Äquivalent von Erdgas verwendet, welches 250 g/kWh beträgt.
Verwaltungskosten	Zusätzlich zu den jährlichen betriebs- und bedarfsgebundenen Kosten fallen jährlich Kosten in Höhe von 30.000 € an. Diese berechnen sich aus vier Arbeitskräften, die je auf 450 € - Basis angestellt werden inklusive der Nebenkosten. Die Summe deckt die Aufwendungen an Verwaltungskosten sowie den Jahresabschluss ab.

7.1.2 Spezifische Parameter von Trassen und Erzeugern

1. Trassen

- **Planungskosten Netz:** 7,50 %
- **Planungskosten Wärmeübergabestationen:** 22,00 %
- **Nutzungsdauer:** 40 Jahre
- **Kosten Hauptleitung:** 650 €/m
- **Kosten Nebenleitung:** 600 €/m
- **Kosten Hausanschluss:** 448 €/m
- **Laufende Kosten Trasse:** 750 €/km
- **Prozentsatz für laufende Kosten Wärmeübergabestationen:** 1,50 %
- **Fixkosten:** 1.000 €/a

2. Biomasse + Heizzentrale

- **Planungskosten:** 20,00 %
- **Nutzungsdauer Anlagenkomponenten:** 20 Jahre
- **Nutzungsdauer Heizzentrale:** 40 Jahre
- **Kosten Biomasse:** 0,027 €/kWh
- **Hilfsenergiebedarf:** 1,50 % der einzuspeisenden Wärme (inkl. Verluste)
- **Bedienzeit:** 300 h/a
- **Prozentsatz für laufende Kosten TGA:** 1,00 %

- **Prozentsatz für laufende Kosten Leittechnik:** 4,00 %
- **Prozentsatz für laufende Kosten Heizzentrale:** 3,00 %
- **Sonstige Fixkosten:** 1,00 €/m² (obligatorische Pacht an Stadt)

3. Pufferspeicher:

- **Planungskosten:** 8,00 %
- **Nutzungsdauer:** 40 Jahre
- **Wärmeverlust Oberfläche:** 14,8 W/m²
- **Prozentsatz für laufende Kosten:** 1,50 %

4. Wärmepumpe:

- **Arbeitszahl Wärmepumpe (COP):** 4,0
- **Nutzungsdauer:** 20 Jahre
- **Hilfsenergiebedarf:** 1,50 % der einzuspeisenden Wärme (inkl. Verluste)
- **Bedienungszeit:** 20 h/a
- **Prozentsatz für laufende Kosten:** 1,50 %
- **Sonstige Fixkosten:** 1.000 €

5. Gaskessel:

- **Planungskosten:** 22,00 %
- **Nutzungsdauer:** 25 Jahre
- **Wirkungsgrad:** 96,00 %
- **Hilfsenergiebedarf:** 1,50 % der einzuspeisenden Wärme (inkl. Verluste)
- **Bedienzeit:** 30 h/a
- **Prozentsatz für laufende Kosten:** 1,50 %
- **Sonstige Fixkosten:** 2.000 €

7.1.3 Kostenübersicht Trassen und Erzeuger

Die Kosten für Trassen und die verschiedenen Erzeuger sind in *Tabelle 10* aufgelistet.

Tabelle 10: Kosten Trassen und Erzeuger

	Investitions- kosten	Förderung	Annuität	Wärmegeste- hungskosten
Trassen	3.465,80 T€	1.386,32 T€	83,15 T€	
Biomasse	873,96 T€	349,58 T€	214,37 T€	8 ct/kWh
Pufferspeicher	210,60 T€	84,24 T€	7,88 T€	
Wärmepumpe	160,00 T€	64,00 T€	37,43 T€	9 ct/kWh
Gaskessel	220,33 T€	0,00 T€	49,08 T€	16 ct/kWh
Summe	4.930,69 T€	1.884,14 T€	391,92 T€	11,73 ct/kWh

Die jährlichen Erlöse werden in *Tabelle 11* berechnet.

Tabelle 11: Erlöse

	Preise (netto)	Häuser/Bedarf	Einnahmen Σ Gesamt
Grundpreis Einfamilienhaus	335,00 €	155 Anschlüsse	51,93 T€
Grundpreis Mehrfamilienhaus	395,00 €	3 Anschlüsse	1,19 T€
Grundpreis öffentliche Gebäude	460,00 €	1 Anschluss	0,46 T€
Messpreis / Leistungspreis (je kW)	55,00 €	2.249 kW	123,70 T€
Arbeitspreis (je kWh)	0,08 €	3.274.676 kWh	261,97 T€
Summe			439,24 T€
Erlöse/ Jahr			11,80 ct/kWh

7.2 Übersicht Jahresbilanzen

Aus der Summe der Investitionskosten sowie den jährlichen Kosten ergeben sich die jährlichen Aufwendungen. Subtrahiert man anschließend die Summe aus den Fördermitteln sowie der Erlöse aus den Trassen so erhält man die Jahresbilanz. Die daraus resultierenden kumulierten Cashflows sind in *Abbildung 16* graphisch dargestellt.

Die Investitionskosten für die Erzeuger teilen sich wie in *Tabelle 12* auf die Jahre 2021 – 2023 auf.

Tabelle 12: Investitionskosten für Erzeuger

Investitionen	Planungskosten		Investitionskosten abzüglich Planung	
	Jahr der Investition	Höhe der Investition	Jahr der Investition	Höhe der Investition
Heizzentrale	2023	178,12 T€	2023	990,98 T€
Biomasse	2023	151,55 T€	2023	757,72 T€
Pufferspeicher	2022	15,91 T€	2023	202,88 T€
Wärmepumpe	2022		2023	166,46 T€
Gaskessel	2022	166,46 T€	2023	187,90 T€

Bei der finanziellen Betrachtung der Trassen ist anzumerken, dass die Planungskosten zu 100 % auf das Jahr 2021 verbucht werden. Die Investitionskosten werden hingegen auf die Jahre 2023 und 2024 aufgeteilt. So wird angenommen, dass im Jahr 2023 etwa 25 % der Gesamtkosten der Wärmeübergabestationen sowie Hausanschlüsse und etwa 2/3 der Kosten für die Haupt- und Nebenleitungen anfallen. Im Jahr 2024 werden dann die restlichen Kosten verbucht.

Auch bei den Erlösen durch die Trassen ist eine Differenzierung am Anfang des Betrachtungszeitraums erforderlich. Durch den Zeithorizont, über den sich die Baumaßnahmen erstrecken, ist erst mit einem Vollerlös im Jahr 2025 zu rechnen. Für das Vorjahr (2024) werden lediglich 50 % der Erlöse berücksichtigt. Im Jahr 2023 werden noch keine Erlöse einbezogen, da gemäß dem Zeitplan der Baumaßnahmen erst am Ende 2023 die ersten Verbraucher ans Netz angeschlossen werden und somit, wenn überhaupt, noch keine nennenswerten Erlöse erwirtschaftet werden.

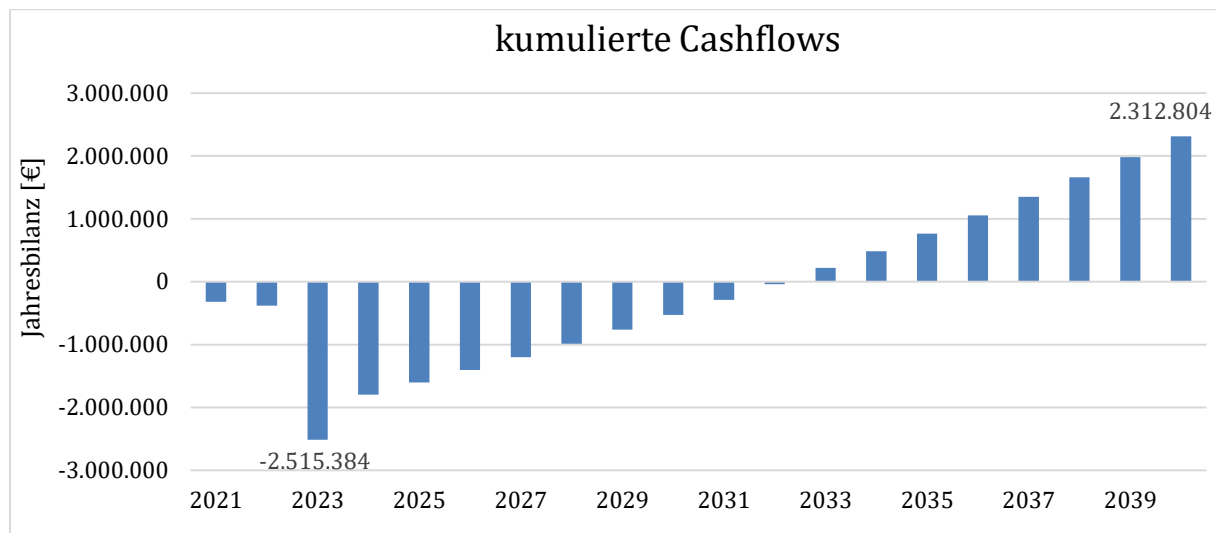


Abbildung 16: Kumulierte Cashflows

Da für die Planungskosten für die Trassen im Jahr 2021 keine Förderung gibt und auch noch keine Erlöse erwirtschaftet werden, ist die Jahresbilanz negativ. Im Verlauf der jährlichen Cashflows ist ein Sprung von 2022 auf 2023 zu verzeichnen, der durch den Beginn der Baumaßnahmen und die damit verbundenen Investitionen begründet ist. Die Investition inkl. der jährlichen Kosten im Jahr 2023 beläuft sich auf ca. 4,4 Mio. €. Abzüglich der Förderungen, Zuschüsse und Erlöse ergibt sich somit im Jahr 2023 der höchste kumulierte negative Cashflow von etwa -2,5 Mio. €. Durch die höheren Erlöse im Vergleich zu den jährlichen Kosten ist der jährliche Cashflow in den Folgejahren positiv. Dadurch reduziert sich auch der kumulierte Cashflow kontinuierlich. Der **Break – Even – Point** des Projekts ist Ende **2032** erreicht. Das bedeutet, dass sich die zu Beginn getätigte Investition durch die Erlöse amortisiert hat. Ab dem Jahr 2033 befindet sich das Projekt in der Gewinnzone. Bis zum Jahr **2040** steigert sich der kumulierte Cashflow auf ca. **2,3 Mio. €**. Die positive Gesamtbilanz des Projekts ist vor allem auch auf die Innovativität zurückzuführen. Ohne die Förderungen in Höhe von 40 % wäre das Projekt im Jahr 2040 noch ca. 2 Mio. € im Minus. Deshalb ist hier nochmals auf die Wichtigkeit der innovativen technischen Konzeption hinzuweisen, wodurch das Projekt sowohl ökonomisch als auch ökologisch äußerst attraktiv ist.

8 Genehmigungslage

Gemäß der 4. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) sind Anlagen, welche eine Feuerungswärmeleistung von unter 1 MW aufweisen nicht genehmigungspflichtig. Es ist lediglich ein Bauantrag durch einen Bauvorlageberechtigten erforderlich. Bei dem geplanten Biomassekessel ist zu beachten, dass durch eine sogenannte Rauchgaskondensation dem entstehenden Rauchgas weitere Wärme entzogen wird. Dadurch steigt die Nennwärmeleistung dieses Erzeugers um 62,3 kW. Für die Berechnung der Feuerungswärmeleistung werden die 800 kW Nennwärmeleistung durch 0,9 geteilt. Bei den Gaskesseln wird die Nennwärmeleistung zuerst durch 0,9 und anschließend durch 20 geteilt. Demnach verringert sich die zu berücksichtigende Feuerungswärmeleistung der Gaskessel wesentlich. Die entsprechenden Berechnungen können in *Tabelle 13* nachvollzogen werden.

Tabelle 13: Berechnung der Feuerungswärmeleistung

Erzeuger	Nennwärmeleistung	Verrechnungsfaktor		Feuerungswärmeleistung
Biomassekessel	800 (+ 62,3) kW	÷ 0,9		889 kW
Gaskessel (gesamt)	1.800 kW	÷ 0,9	÷ 20	100 kW
Summe				989 kW

Insgesamt ist die geplante Anlage damit unter dem für die Genehmigung kritischen Wert von 1 MW.

Wird die gesamte Anlage verändert oder vergrößert, so muss die Feuerungswärmeleistung für die gesamte Anlage neu berechnet werden. Im Falle einer Überschreitung der 1 MW – Grenze, bedarf es einer Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) § 16.

9 Fazit und Empfehlung

Das Ziel dieser Machbarkeitsstudie war es, unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Aspekte, eine innovative Energieversorgung des bestehenden Eichkampviertels zu entwickeln. Damit stellt das Projekt eine Neuheit dar, da bisher der Fokus auf der energetisch innovativen Versorgung von Neubaugebieten gelegen hat. Doch zur Erreichung der Klimaziele ist es unabkömmlich auch Bestandsgebiete energetisch aufzuwerten und mit nachhaltiger Energie zu versorgen.

Zur Umsetzung dieses Ziels ist das bereits begonnene Sanierungsmanagement zur Reduktion des Wärmebedarfs ein essenzieller Faktor. Die energetische Aufwertung der Bestandsgebäude erlaubt eine neue und innovative Herangehensweise an das Thema Fernwärme. Dadurch bietet sich die Perspektive auf ein Fernwärmenetz in Form eines Nieder-temperatur-Netzes, welches relativ niedrige Vorlauftemperaturen aufweist.

Die hierfür durchgeführten Analysen und Berechnungen haben zu der folgenden Kombination von Erzeugern mit absteigender Priorisierung geführt:

- Eine 400 kW Luft-Wasser-Wärmepumpe ist mit der Versorgung über die PV-Anlage sowie die strommarktdienliche Fahrweise der Innovationsfaktor dieses Projektes. Sie produziert in den Sommermonaten und der Übergangszeit den Großteil der benötigten Wärmeenergie für das Quartier. Die Wärmepumpe läuft bei Außentemperaturen über 12 °C.
- Der 800 kW Biomassekessel nutzt die ökologische Energiequelle Hackschnitzel zur Wärmeerzeugung und hat nach der Wärmepumpe die höchste Priorität. Der Kessel unterstützt die Wärmepumpe, wenn mehr Wärme verbraucht wird als die Wärmepumpe produzieren kann. Außerdem übernimmt er die Wärmeproduktion, wenn die Außentemperatur unter 12 °C beträgt.
- Der Pufferspeicher unterstützt die angestrebte Innovativität und Ökonomie des Vorhabens. Gespeist wird der Speicher ausschließlich von Wärmepumpe und Biomassekessel, wenn die produzierte Wärme im Netz nicht abgenommen wird. Dadurch ermöglicht der Speicher, dass die Wärmepumpe Wärme zu strommarktdienlichen Zeiten produziert, auch wenn keine direkte Abnahme stattfindet.
- Um jedoch eine Ausfallsicherheit, Spitzenlastabdeckung und Reserve für das Netz zu gewährleisten, wird hier auf zwei Gas-Brennwertkessel zurückgegriffen, die nur im Bedarfsfall laufen.

Die Einbindung dieser Erzeuger in ein NT-Netz ist auch durch die Tatsache möglich, dass die Sicherstellung der Trinkwasserhygiene in die Gebäude verlagert wird. Somit wird nicht das ganze Netz mit diesen Anforderungen übermäßig belastet. Hierfür wurden ausführliche Überlegungen angestellt und im Bedarfsfall Pufferspeicher mit Heizstab geplant.

Bei Betrachtung der Wirtschaftlichkeit zeigt sich, dass das Projekt auch in ökonomischer Hinsicht eine gute Perspektive hat. Der Break-Even-Point ist Ende 2032 erreicht und ab 2033 befindet sich das Projekt in der Gewinnzone. Besonders wichtig ist der innovative Faktor Wärmepumpe, der eine Förderung von 40% ermöglicht.

10 Redaktion

An diesem Bericht haben mitgewirkt:

Das Team der DME Consult GmbH in Rosenheim:

Dietmar Münnich	-	Geschäftsführer
Joanna Nalewajka	-	Projektleiterin
Lisa Staudacher	-	Projektingenieurin, Energieberaterin
Nicole Piegsa	-	Projektingenieurin
Daniel Deppisch	-	Werkstudent

Als externer Berater für Energieprojektentwicklung:

Martin Lohrmann
Unter der Flüh 1
79713 Bad Säckingen
Deutschland