

Untersuchung verschiedener
Energieversorgungsvarianten für das
integrierte Quartierskonzept
„Faulenbergkaserne“ der Stadt Würzburg

Untersuchung verschiedener Energieversorgungsvarianten für
das integrierte Quartierskonzept „Faulenbergkaserne“ der Stadt
Würzburg

Datum: 12.11.2013

Auftraggeber:

Energieagentur Unterfranken e.V.
Domstraße 5
97070 Würzburg

Auftragnehmer:

Institut für Energietechnik IfE GmbH
an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

Inhalt

1. Einleitung.....	1
2. Die Prüfung einer Nahwärme- und Nahkälteverbundlösung in der Faulenbergkaserne West.....	2
2.1. Der jährliche Wärme- und Kältebedarf	2
2.2. Die Kennzahlen der Netze.....	4
3. Der monatliche thermische Energiebedarf im Verbund	5
3.1. Der monatliche Wärmebedarf.....	5
3.2. Der monatliche Kältebedarf	8
3.3. Der monatliche Wärmebedarf bei Einsatz einer Absorptionskältemaschine.....	10
4. Die Dimensionierung verschiedener Energieversorgungsvarianten	12
4.1. Variante 1.0: Fernwärme WVV und dezentrale Kompressionsmaschinen ...	13
4.2. Variante 1.1: Fernwärme WVV und zentrale Kompressionsmaschine	14
4.3. Variante 1.2: Fernwärme WVV und Absorptionskältemaschine	16
4.4. Variante 2: Erdsonden-Wärmepumpe	18
4.5. Variante 3: Grundwasser-Wärmepumpe	20
4.6. Variante 4.1: Erdgas-BHKW und Kompressionskältemaschine	22
4.7. Variante 4.2 Erdgas-BHKW und Absorptionskältemaschine	24
4.8. Variante 5.1: Biomethan-BHKW und Kompressionsmaschine	27
4.9. Variante 5.2: Biomethan-BHKW und Absorptionskältemaschine	29
4.10. Zusammenfassung: Energetischer Vergleich der betrachteten Energieversorgungsvarianten	32

5. Die wirtschaftliche Betrachtung der Varianten	33
5.1. Die wirtschaftlichen Grundannahmen.....	33
5.2. Der wirtschaftliche Vergleich der Energieversorgungsvarianten	41
5.3. Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	45
6. Die ökologische Betrachtung der Varianten.....	47
7. Zusammenfassung	51
8. Abbildungsverzeichnis.....	53
9. Tabellenverzeichnis	54

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Abs	Absatz
BHKW	Blockheizkraftwerk
ca	circa
CO₂	Kohlenstoffdioxid
Ct	Eurocent
EEG 2012	Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien
EnEV 2009	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden
etc	et cetera
h	Stunde
Hi	Heizwert
JDL	Jahresdauerlinie
kg	Kilogramm
kW	Kilowatt
kW_{el}	Kilowatt - Elektrisch
kWh	Kilowattstunde
kWh_{Hi}	Kilowattstunde - Heizwert
kWh_{HS}	Kilowattstunde - Brennwert
kWh_{prim}	Kilowattstunde - Primärenergie
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWK-Gesetz	Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung
kW_{th}	Kilowatt - Thermisch
l	Liter
m	Meter
m²	Quadratmeter
m³	Kubikmeter
max	Maximal
min	Minimal
MWh	Megawattstunde
MWh_{Hi}	Megawattstunde - Heizwert
Nm³	Normkubikmeter
Nr	Nummer
PE	Primärenergiebedarf
s	Sekunde
spez	Spezifisch
t	Tonne
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
WP	Wärmepumpe
WV	Würzburger Versorgungs- und Verkehrs-GmbH
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung

Im Rahmen des integrierten Quartierskonzepts für das Gelände „Faulenbergkaserne“, siehe Abbildung 1, werden in der vorliegenden Studie verschiedene Varianten für die Wärme- und Kälteversorgung des Gebiets geprüft. Vorerst werden dabei nur die Gebäude westlich des Aumühlplatzes betrachtet, da auch eine Umsetzung der Konversion nach dem jetzigen Planungsstand von West nach Ost erfolgt. Basis für die Untersuchung bilden die jährlichen Energiebedarfe für die einzelnen Liegenschaften, die vorab von der Energieagentur Unterfranken ermittelt worden sind. Darauf aufbauend werden dezentrale und zentrale Konzepte entwickelt, wobei sowohl auf ökonomische, als auch ökologische Auslegung geachtet wird. Die Bewertung der unterschiedlichen Energieversorgungsvarianten erfolgt im Rahmen einer Vollkostenrechnung nach der Annuitätsmethode in Anlehnung an die VDI 2067 und anhand einer Bilanzierung der CO₂-Emissionen und des Primärenergiebedarfs. Das Ergebnis liefert somit eine umfangreiche Informationsbasis für die weitere Planung des künftigen Wärme- und Kälteversorgungskonzepts im Quartier „Faulenbergkaserne“



Abbildung 1: Luftaufnahme des Geländes „Faulenbergkaserne“ [Quelle: <http://geoportal.bayern.de/bayernatlas>, Abgerufen am 12.10.2013]

2. Die Prüfung einer Nahwärme- und Nahkälteverbundlösung in der Faulenbergkaserne West

Ausgehend von dem von der Energieagentur Unterfranken ermittelten Wärme- und Kältebedarf wird in diesem Kapitel die energetische Struktur des West-Teils der Faulenbergkaserne hinsichtlich der Eignung für einen Nahwärme- bzw. Nahkälteverbund geprüft. Ein entsprechendes Netz wird dimensioniert und aussagekräftige Kennzahlen gebildet.

2.1. Der jährliche Wärme- und Kältebedarf

Grundlage bilden die Energiebedarfe, welche für den West-Teil in Abbildung 2 dargestellt sind. Ebenfalls gezeigt ist der mögliche Verlauf von Wärme- und Kälteleitungen mit den jeweiligen Rohrdimensionen.

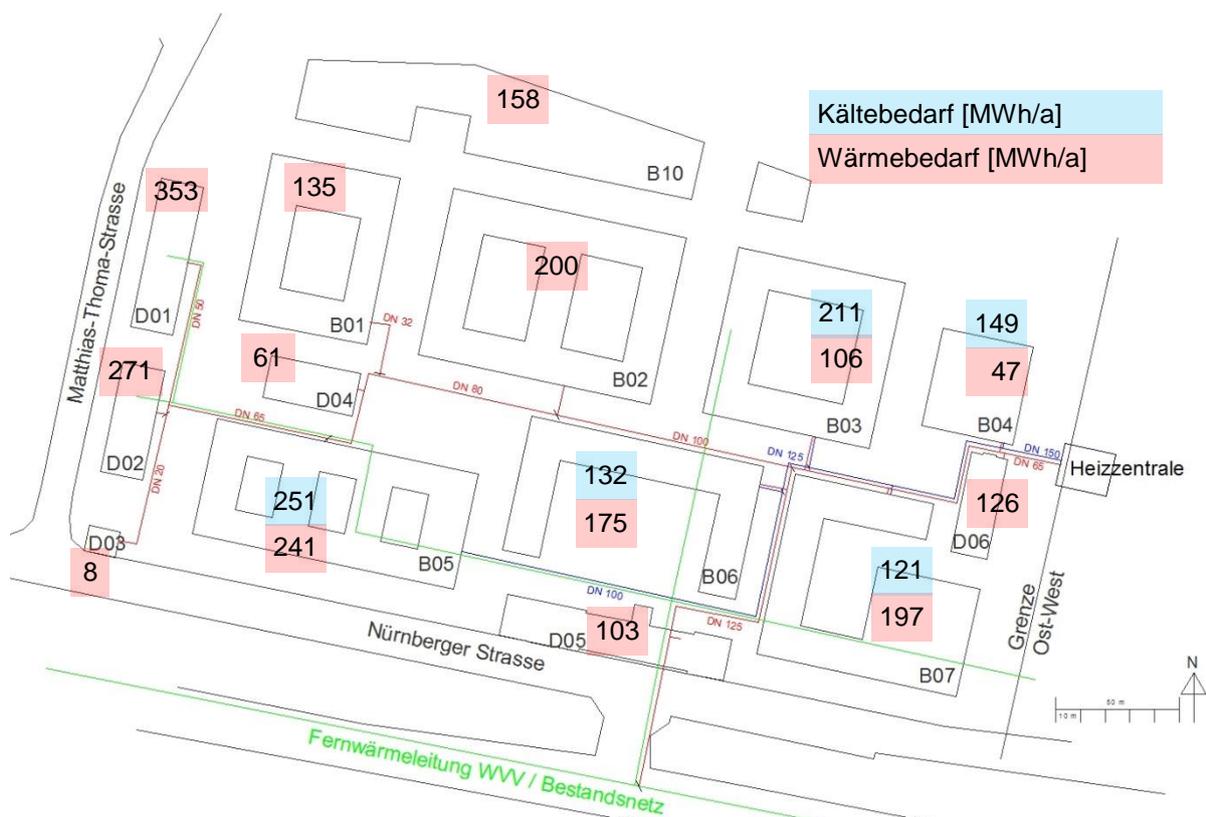


Abbildung 2: Wärme- und Kältebedarf in der Faulenbergkaserne – West

In Summe werden im Netz jährlich rund 2.023 MWh Nutzwärme und rund 864 MWh Nutzkälte benötigt, Leitungsverluste noch nicht berücksichtigt. Der Standort der Heizzentrale wurde so gewählt, dass eine spätere Anbindung der Gebäude im Ost-Teil möglich ist. Der genaue Verlauf der Leitungen muss bei einer Umsetzung im Detail geprüft werden. Bisher orientiert er sich am bestehenden Nahwärmenetz, welches in Abbildung 2 grün eingezeichnet ist. Eine Nutzung der alten Leitungen ist nicht vorgesehen, möglicherweise können aber die existierenden Medienschächte weiter verwendet werden.

Ein Anschluss des Gebäudes B10 im Norden (Stadtreiniger: Salzhalle, Lager, Stellplätze) ist in Abstimmung mit dem Auftraggeber derzeit nicht vorgesehen, da dieses Gebäude in der jetzigen Planung nur frostfrei (Raumtemperatur über Null Grad) gehalten wird.

2.2. Die Kennzahlen der Netze

Für eine vorläufige Bewertung der Netze sind verschiedene technische Kennzahlen von Interesse und in den folgenden beiden Tabellen dargestellt.

Tabelle 1: Kennzahlen des Wärmenetzes

Wärmenetz		
Trassenlänge, ca.	[m]	800
Nutzwärme, ca.	[kWh/a]	2.023.000
Belegung, ca.	[kWh/(m*a)]	2.530
Verluste, ca.	[kWh/a]	93.000
Verluste, ca.	[%]	5

Tabelle 2: Kennzahlen des Kältenetzes

Kältenetz		
Trassenlänge, ca.	[m]	350
Nutzkälte, ca.	[kWh/a]	864.000
Belegung, ca.	[kWh/(m*a)]	2.470
Verluste, ca.	[kWh/a]	vernachlässigbar
Verluste, ca.	[%]	/

Die relativ hohe Dichte der Bebauung und damit hohe Bedarfsdichte auf dem Gelände der Faulenbergkaserne machen eine zentrale Energieversorgung interessant. Dies zeigt sich auch in der Belegung der Netze, die angibt, wie viel thermische Energie je Trassenmeter und Jahr über das jeweilige Netz verteilt wird. Ab einer Belegung von 1.500 kWh/(m*a) bei Wärmenetzen kann ein wirtschaftlicher Betrieb erwartet werden. Die Verluste in Höhe von 5 % im Wärmenetz sind in einem akzeptablen Bereich.

Durch den geringeren Temperaturunterschied zwischen dem Erdreich und dem Kältenetz werden bei diesem die Verluste vernachlässigt.

3. Der monatliche thermische Energiebedarf im Verbund

Um künftige Wärme- und Kälteversorger auslegen zu können, ist die Kenntnis des detaillierten Verlaufs des jeweiligen Bedarfs und der entsprechenden Leistung über ein Jahr von Nöten. Diese Daten werden in diesem Kapitel dargestellt und bewertet.

3.1. Der monatliche Wärmebedarf

Der Gesamtwärmebedarf aller im Netz zusammengeschlossenen Gebäude beträgt ca. 2.023 MWh/a. Über die Gradtagszahlen für den Standort Würzburg kann dieser Jahresbedarf auf die entsprechenden Monate verteilt werden. Hinzu kommen die Netzverluste in Höhe von ca. 93 MWh/a. Der Verlauf ist in Abbildung 3 dargestellt.

Aufgrund der Nutzungsart der Gebäude wurde bei der Verteilung der Wärmebedarfs kein Warmwassersockel¹ berücksichtigt, da angenommen wird, dass der Wärmebedarf für Brauchwasser im Verhältnis zur Raum- oder Prozesswärme vernachlässigbar gering ist. Gegebenenfalls muss bei einem Warmwasserbedarf dieses dezentral erzeugt oder nachgeheizt werden.

Dadurch kann das Netz mit relativ niedrigen Vorlauftemperaturen von angenommenen 55 °C betrieben werden, was die Wärmeverluste durch den geringeren Temperaturunterschied zur Umgebung verringert.

Es wird zudem in Abstimmung mit der Energieagentur Unterfranken davon ausgegangen, dass durch die Bauweise der Gebäude in den Monaten Juni, Juli und August kein Raumwärmebedarf entsteht und das Netz in dieser Zeit stillgelegt werden kann.

¹ Warmwassersockel: Ein über das ganze Jahr gleichbleibender Grundlastbedarf für Brauchwassererwärmung. In der Jahresdauerlinie (Siehe Seite 6ff) ließe sich dieser Bedarf als durchgehender „Sockel“ darstellen.

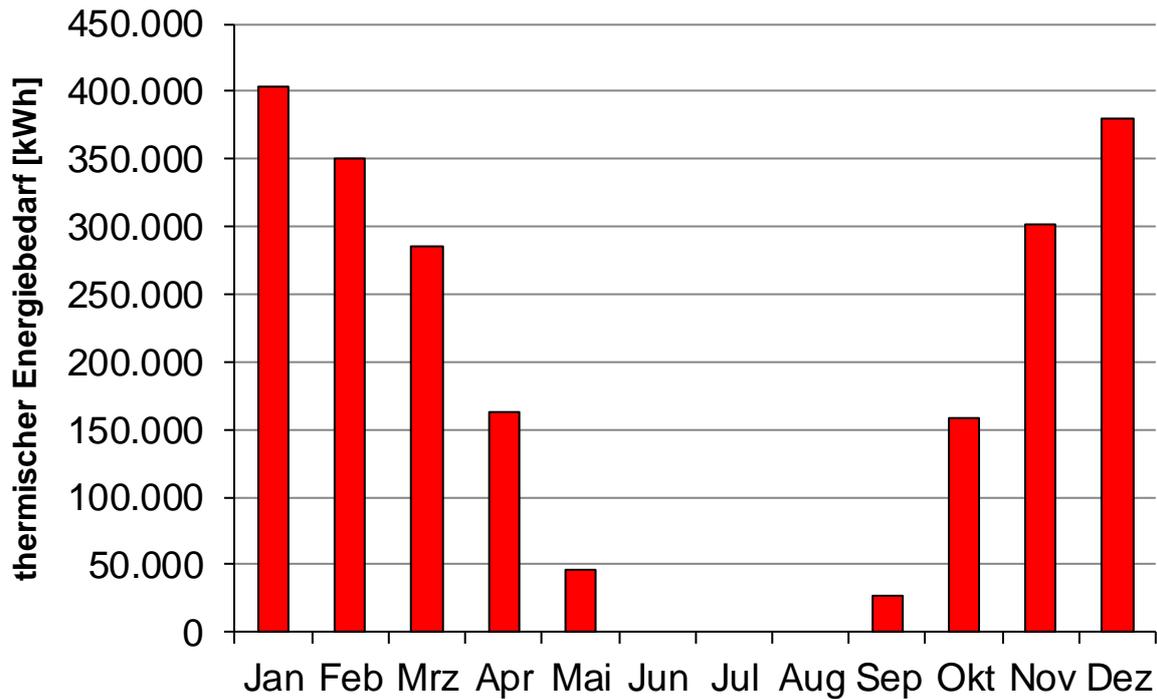


Abbildung 3: Der monatliche Wärmebedarf im Verbund, inkl. Netzverluste

Anhand des monatlichen Gesamtwärmebedarfs wird die geordnete Jahresdauerlinie (JDL) des thermischen Energiebedarfs erstellt. Die geordnete Jahresdauerlinie ist das zentrale Instrument für den Anlagenplaner. Die Fläche unter der Jahresdauerlinie entspricht dem Jahresnutzwärmebedarf. Idealerweise sollten sich die meist modular aufgebauten – also in Grund- und Spitzenlastabdeckung unterteilten – Heizanlagensysteme der Jahresdauerlinie annähern. In Abbildung 4 ist die thermische Jahresdauerlinie für den Wärmeverbund inkl. Netzverluste dargestellt.

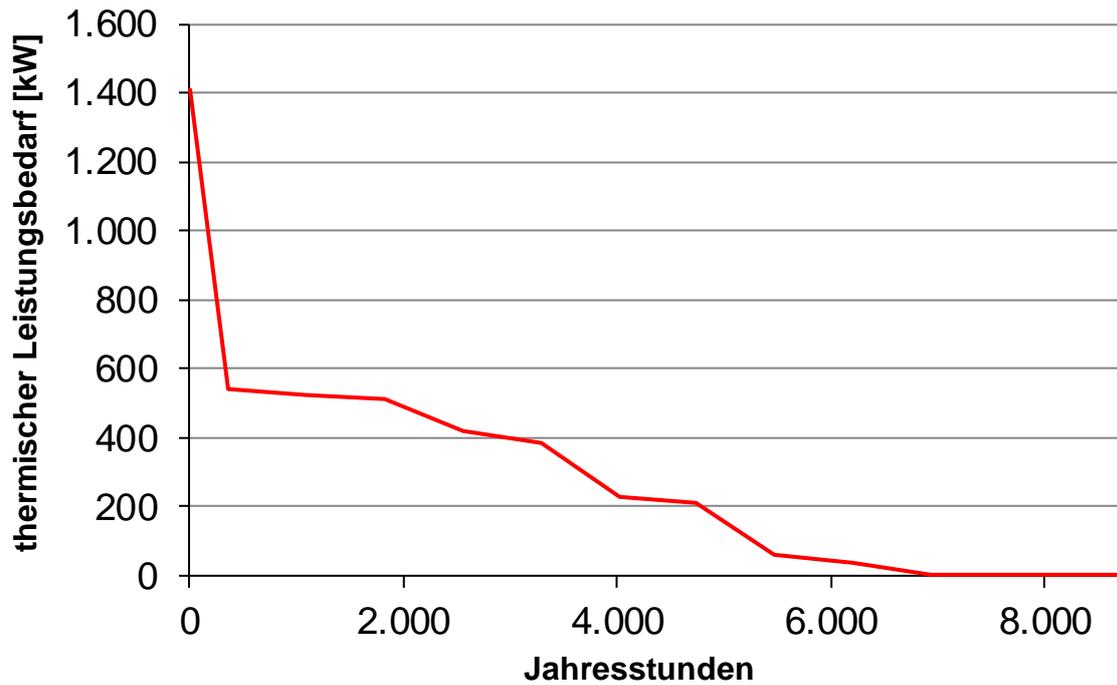


Abbildung 4: Die thermische Jahresdauerlinie für Wärme im Verbund, inkl. Netzverluste

Es zeigt sich, dass eine Grundlast von ca. 200 kW für ca. 4.800 Stunden im Jahr benötigt wird. Die Spitzenlast kann anhand der Vollbenutzungsstunden prognostiziert werden. Dies ersetzt keine detaillierte Heizlastberechnung. Bei angenommenen 1.500 Vollbenutzungsstunden im Jahr ergibt sich ein Spitzenlastbedarf von ca. 1.400 kW.

3.2. Der monatliche Kältebedarf

Analog zum Wärmebedarf können die gleichen Berechnungen und Analysen für den Kältebedarf durchgeführt werden. In Abbildung 5 ist der monatliche Kältebedarf dargestellt. Die Netzverluste werden - wie in Kapitel 2.2 erläutert - vernachlässigt. Abbildung 6 zeigt die thermische Jahresdauerlinie für den Kälteverbund.

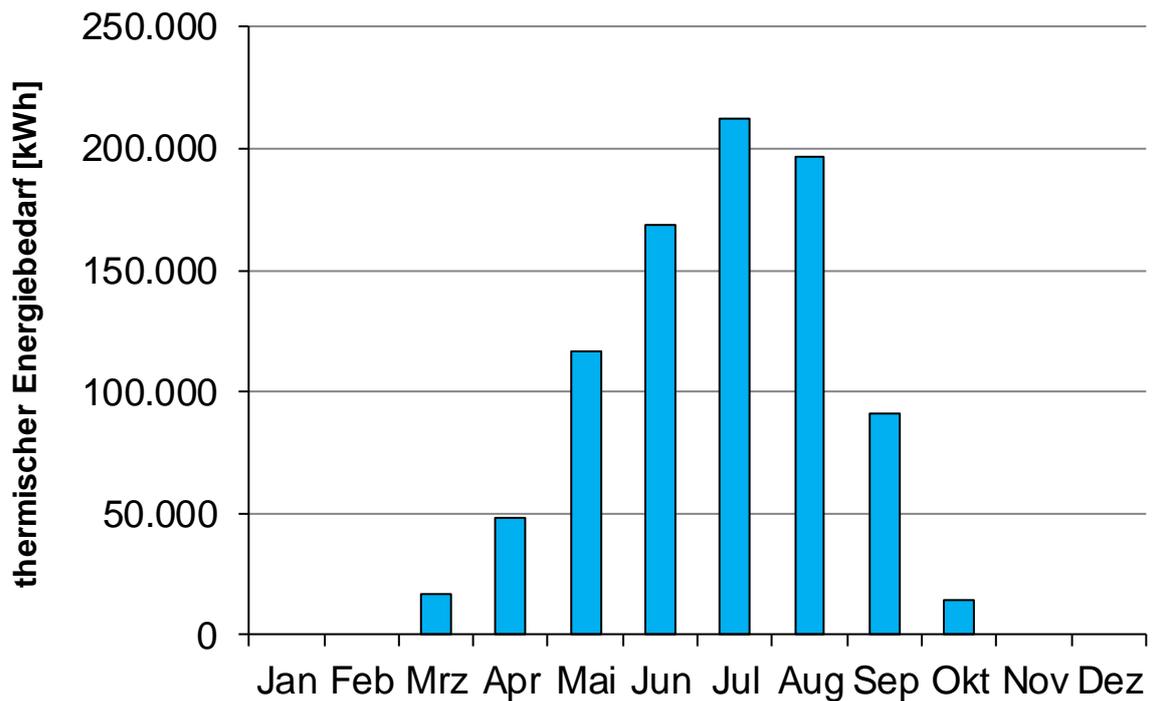


Abbildung 5: Der monatliche Kältebedarf im Verbund

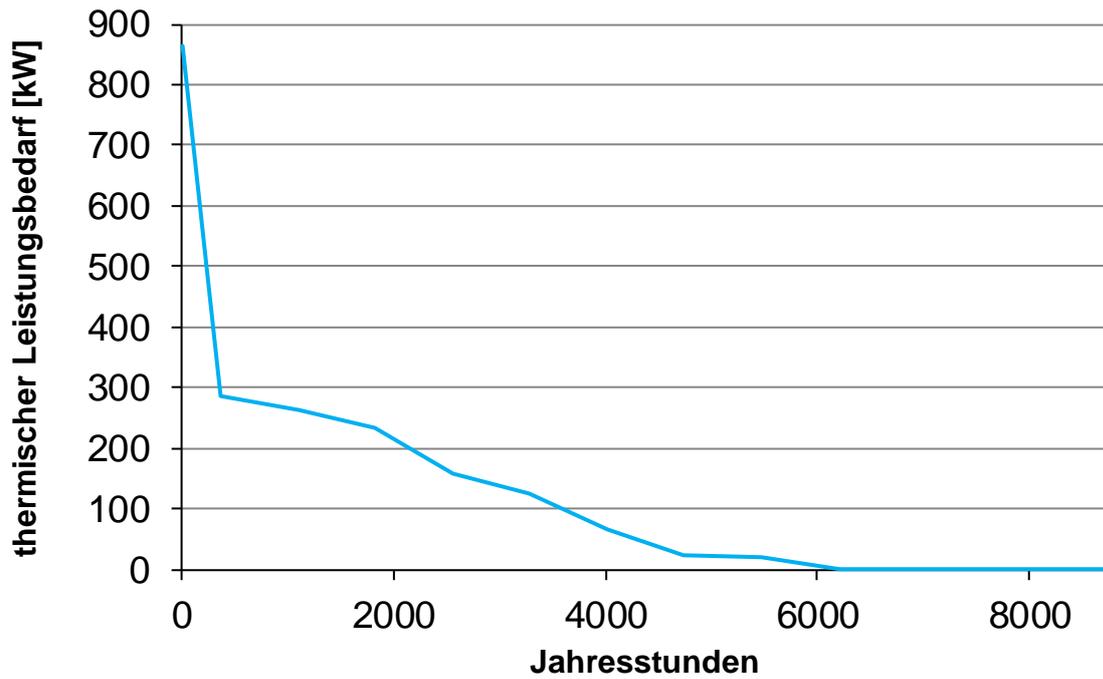


Abbildung 6: Die thermische Jahresdauerlinie für Kälte im Verbund

Es zeigt sich der typische Verlauf einer Jahresdauerlinie für Kälte. Die Spitzenlast kann anhand der Vollbenutzungsstunden prognostiziert werden. Dies ersetzt keine detaillierte Kältelastberechnung. Bei angenommenen 1.000 Vollbenutzungsstunden im Jahr ergibt sich ein Spitzenlastbedarf von ca. 850 kW.

3.3. Der monatliche Wärmebedarf bei Einsatz einer Absorptionskältemaschine

Im Rahmen des Konzepts wird auch der Einsatz von thermisch betriebenen Kältemaschinen betrachtet. Als thermisch angetriebene Kältemaschinen werden üblicherweise sogenannte Absorptionskälteanlagen mit flüssigem Sorptionsmittel, seltener auch Adsorptionskälteanlagen mit festem Sorptionsmittel eingesetzt, welche die Abwärme z.B. eines Blockheizkraftwerkes zur Kälteerzeugung nutzen können.

Dadurch wird die Auslastung des Blockheizkraftwerks vor allem in den Sommermonaten, in denen nur ein geringer Wärme-, aber ein hoher Kältebedarf auftritt, entscheidend verbessert. Dies kann sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit auswirken. Darüber hinaus wird die vergleichsweise hochwertige und teure Antriebsenergie Strom eingespart und durch die günstigere und weniger vielseitige Energieform Wärme ersetzt. Durch den Einsatz einer Absorptionskältemaschine, die den Grundlastbedarf der Kälte bereitstellt, erhöht sich der Wärmebedarf im Sommer. Die Wärme wird dabei z.B. durch ein Grundlast-Gas-BHKW bereitgestellt, das dann entsprechend größer dimensioniert werden kann.

Da die spezifischen Kosten je kW Kälteleistung bei Absorptionskältemaschinen deutlich höher liegen als bei Kompressionskältemaschinen, wird nur der Grundlastbereich des Kältebedarfs von den Absorptionskältemaschinen gedeckt. Zur Spitzenlastabdeckung stehen weiterhin Kompressionskälteanlagen bereit. Es wird angenommen, dass rund 80 % des Kältebedarfs von der Absorptionskälteanlage erzeugt werden können.

Bei einem Wärmeverhältnis von Kälteleistung zu Wärmeleistung von 0,7 werden jährlich ca. 964 MWh Wärme zur Kälteerzeugung benötigt. In Abbildung 7 ist der angepasste monatliche Wärmebedarf inklusive der Netzverluste dargestellt. Abbildung 8 zeigt die Jahresdauerlinien für den Wärmebedarf im Verbund mit und ohne Absorption inklusive der Netzverluste.

Es zeigt sich im Vergleich der Jahresdauerlinien deutlich der durch die Absorptionskälteanlage gestiegene thermische Leistungsbedarf in den Sommermonaten.

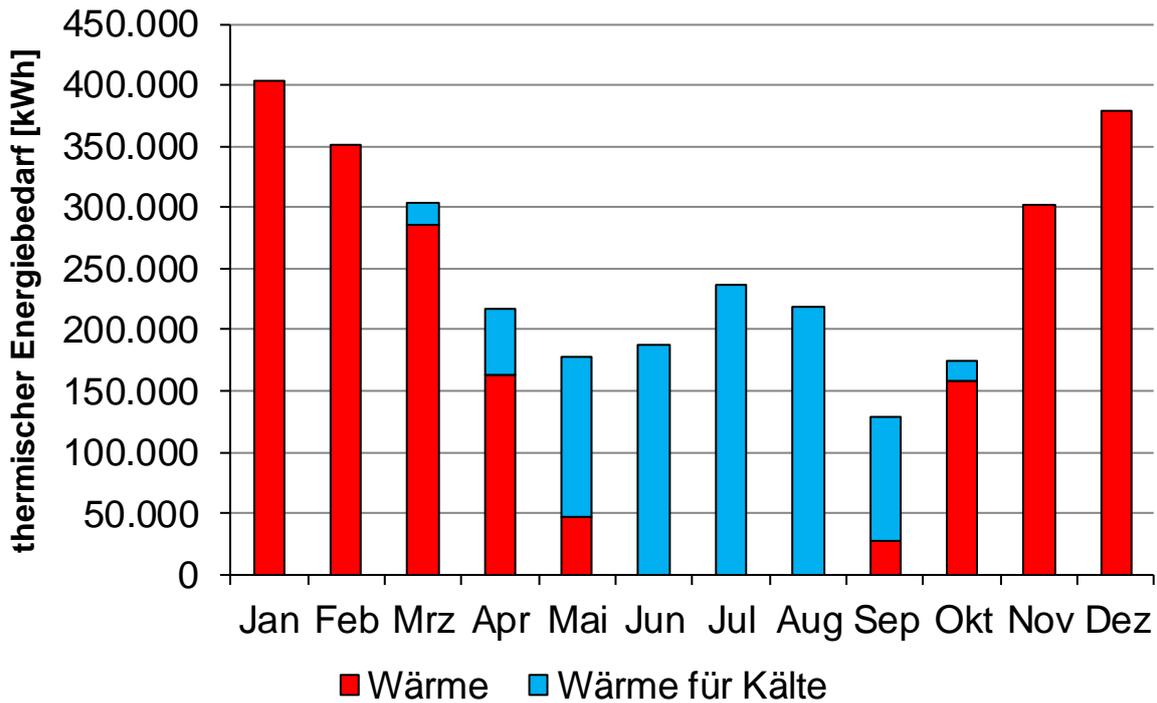


Abbildung 7: Der monatliche Bedarf an Wärme und Wärme für Absorptionskälte im Verbund, inkl. Netzverluste

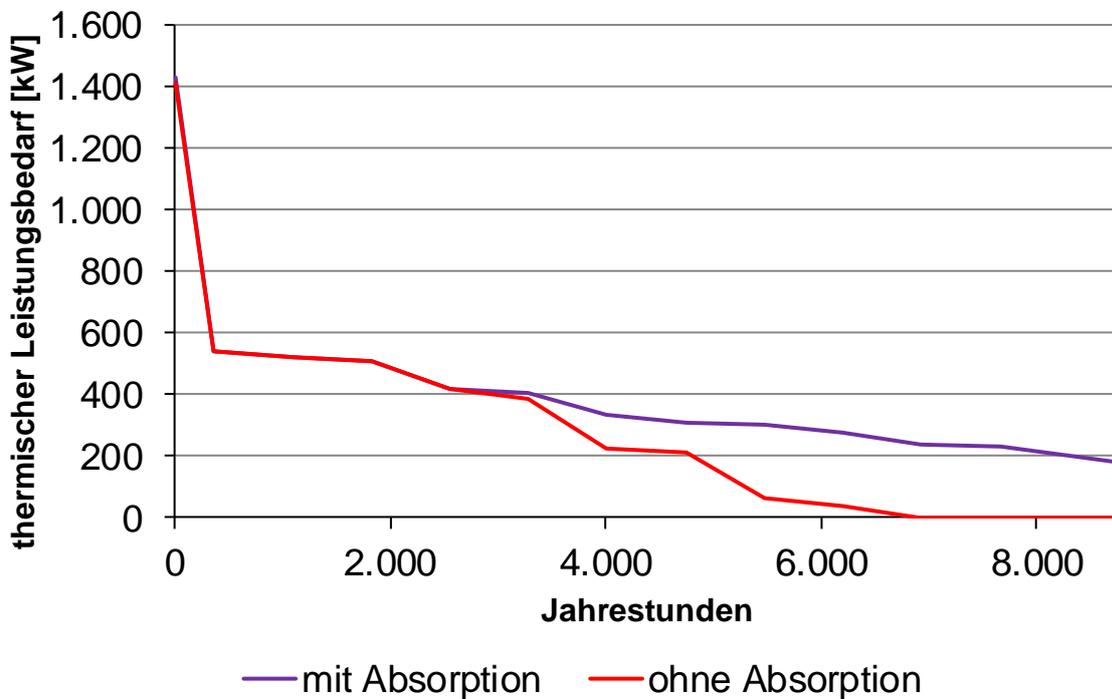


Abbildung 8: Vergleich der Jahresdauerlinien für Wärme im Verbund, inkl. Netzverluste

4. Die Dimensionierung verschiedener Energieversorgungsvarianten

Ausgehend von den ermittelten Jahresdauerlinien werden in diesem Kapitel verschiedene konventionelle und innovative Energieversorgungsvarianten dimensioniert. Technische Besonderheiten und die - in Abstimmung mit den betroffenen Akteuren - getroffenen Annahmen werden erläutert.

In Tabelle 3 sind die betrachteten Energieversorgungsvarianten dargestellt.

Tabelle 3: Die betrachteten Varianten

Variante	1.0	1.1	1.2	2	3
Wärmeerzeugung	Fernwärme WVV	Fernwärme WVV	Fernwärme WVV	WP Erdsonden 400 kW th Fernwärme WVV	WP Grundwasser 400 kW th Fernwärme WVV
Kälteerzeugung	Kompression dezentral	Kompression zentral	Absorption FW Kompression	WP Erdsonden Kompression	WP Grundwasser Kompression

Variante	4.1	4.2	5.1	5.2
Wärmeerzeugung	Gas- BHKW 207 kW th 140 kW el Fernwärme WVV	Gas- BHKW 370 kW th 240 kW el Fernwärme WVV	Biomethan- BHKW 207 kW th 140 kW el Fernwärme WVV	Biomethan- BHKW 370 kW th 240 kW el Fernwärme WVV
Kälteerzeugung	Kompression	Absorption BHKW Kompression	Kompression	Absorption BHKW Kompression

Abschließend werden in Tabelle 12 die energetischen Kennzahlen der Energieversorgungsvarianten verglichen.

Bei den Varianten 2 und 3 gibt es noch technische Vorbehalte bezüglich der Altlastensituation (Siehe Kapitel 5.3), was in den Tabellen und Abbildungen durch eine rote Markierung hervorgehoben wird.

4.1. Variante 1.0: Fernwärme WVV und dezentrale Kompressionsmaschinen

Wärmeversorgung

In dieser Variante wird der komplette Wärmebedarf der Gebäude über das bestehende Fernwärmenetz der Würzburger Versorgungs- und Verkehrs-GmbH (WVV) bereitgestellt. Bei angenommenen 1.500 Vollbenutzungsstunden jährlich wäre eine Spitzenleistung von ca. 1.400 kW nötig. Die Jahresdauerlinie entspricht der Variante 1.1 und ist in Abbildung 9 gezeigt. In Summe werden für Raumwärme und Warmwasser rund 2.116.000 kWh Fernwärme benötigt.

Kälteversorgung

Die Kälteerzeugung erfolgt mittels dezentral aufgestellter Kompressionskältemaschinen. Bei einer angenommenen durchschnittlichen Leistungszahl der Kältemaschinen von 3,5 werden rund 247.000 kWh Strom zur Kälteerzeugung benötigt.

4.2. Variante 1.1: Fernwärme WVV und zentrale Kompressionsmaschine

Wärmeversorgung

In dieser Variante wird der komplette Wärmebedarf der Gebäude ebenfalls über das bestehende Fernwärmenetz der WVV bereitgestellt. Bei angenommenen 1.500 Vollbenutzungsstunden jährlich wäre eine Spitzenleistung von ca. 1.400 kW nötig.

Abbildung 9 zeigt die Jahresdauerlinie für Wärme dieser Variante, Tabelle 4 die wichtigsten Kenndaten.

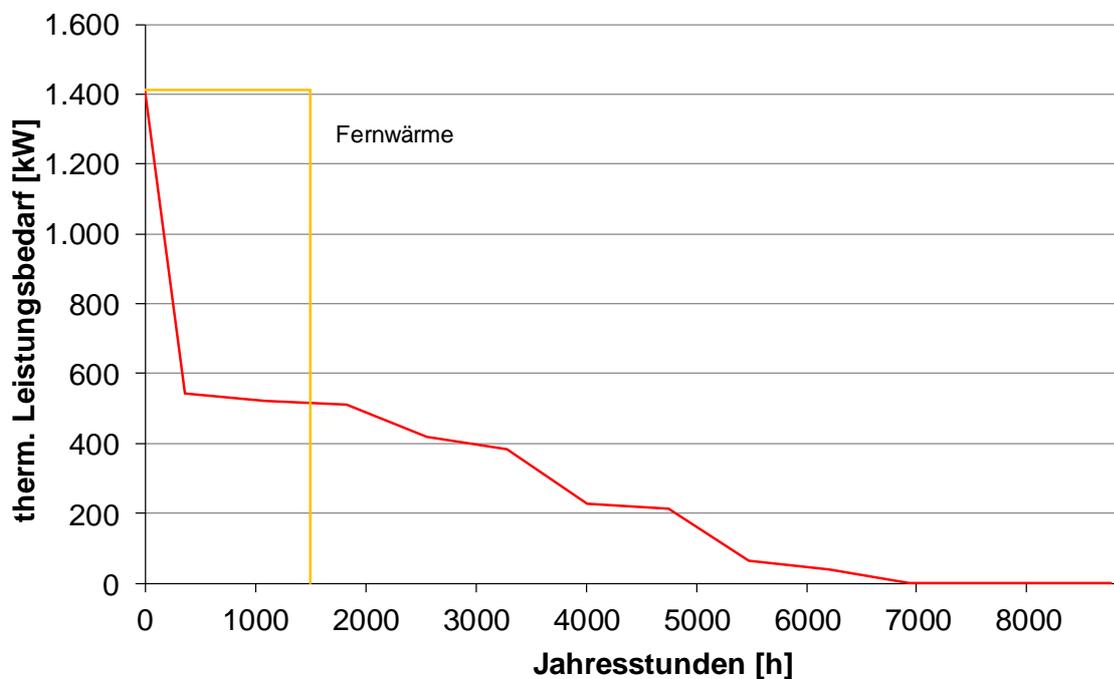


Abbildung 9: JDL Wärme der Variante 1.1

Tabelle 4: Wärme-Kenndaten der Variante 1.1

Wärmeerzeuger		Fernwärme WVV
Nennwärmeleistung	[kW]	1.410
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	1.500
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	2.116.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	100
Verbrauch, Fernwärme	[kWh/a]	2.116.000

Kälteversorgung

Die Kälteerzeugung erfolgt mittels einer zentral aufgestellten Kompressionskälteanlage. Es wird davon ausgegangen, dass das Kältenetz gleichzeitig mit dem Wärmenetz verlegt werden kann. Durch die größere Kälteanlage wird von einer besseren Leistungszahl als in Variante 1.0 ausgegangen. Bei einer angenommenen Leistungszahl von 4 werden rund 216.000 kWh/a Strom benötigt.

4.3. Variante 1.2: Fernwärme WVV und Absorptionskältemaschine

Wärmeversorgung

In dieser Variante wird der komplette der Wärmebedarf der Gebäude und der Absorptionskälteanlage über das bestehende Fernwärmenetz der WVV bereitgestellt.

Abbildung 10 zeigt die Jahresdauerlinie für Wärme dieser Variante, Tabelle 5 die wichtigsten Kenndaten.

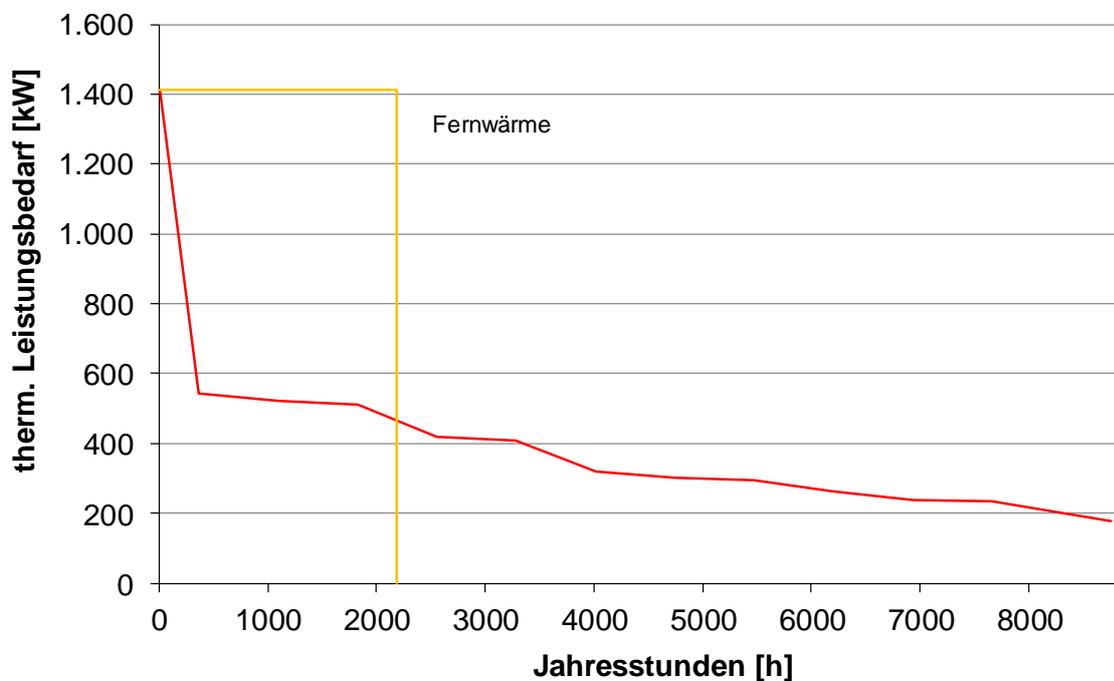


Abbildung 10: JDL Wärme der Variante 1.2

Tabelle 5: Wärme-Kenndaten der Variante 1.2

Wärmeerzeuger		Fernwärme WVV
Nennwärmeleistung	[kW]	1.410
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	2.200
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	3.080.000
davon für Kälteerzeugung	[kWh/a]	964.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	100
Verbrauch, Fernwärme	[kWh/a]	3.080.000

Kälteversorgung

Die Grundlast der Kälte wird über eine Absorptionskältemaschine mit 270 kW Leistung bereitgestellt, die ebenfalls mit Wärme aus dem Fernwärmenetz gespeist wird. Die Spitzenlast des Kältebedarfs wird mittels einer Kompressionskälteanlage mit ca. 600 kW gedeckt. Bei angenommenen 2.500 Vollbenutzungsstunden im Jahr erzeugt die Absorptionskälteanlage rund 675.000 kWh/a Kälte, was in etwa 78 % des Kältebedarfs entspricht. Insgesamt werden dann zur Kälteerzeugung rund 964.000 kWh/a Wärme aus dem Fernwärmenetz und 47.000 kWh/a Strom benötigt.

4.4. Variante 2: Erdsonden-Wärmepumpe

Wärmeversorgung

In dieser Variante wird die Grundlast des Wärmebedarfs über eine Erdsonden-Wärmepumpe mit 400 kW bereitgestellt, die Spitzenlast über das Fernwärmenetz der WVV. Die Wärmepumpe erzeugt dabei rund 1.600 MWh/a Wärme und benötigt dafür Strom in Höhe von ca. 400 MWh/a. Nach einer ersten überschlägigen Prognose wären rund 150 Erdsonden auf einer Fläche von ca. 7.500 m² bei einer Sondenlänge von 100 m nötig. Gegebenenfalls können diese in die Fläche des Aumühlplatzes (ca. 9.500 m²), gebohrt werden. Eine zuverlässige Aussage kann aber nur durch ein geologisches Bodengutachten getroffen werden. Die technischen Rahmenbedingungen und insbesondere die Sondenlänge unter Berücksichtigung etwaiger Altlasten müssen vor einer Umsetzung im Detail geprüft werden. Auch eine weitere gleichzeitige Nutzung dieser Fläche z.B. als Parkplatz oder Freifläche für Freizeitnutzung oder Ähnliches sollte vorab untersucht werden.

Abbildung 11 zeigt die Jahresdauerlinie für Wärme dieser Variante, Tabelle 6 die wichtigsten Kenndaten.

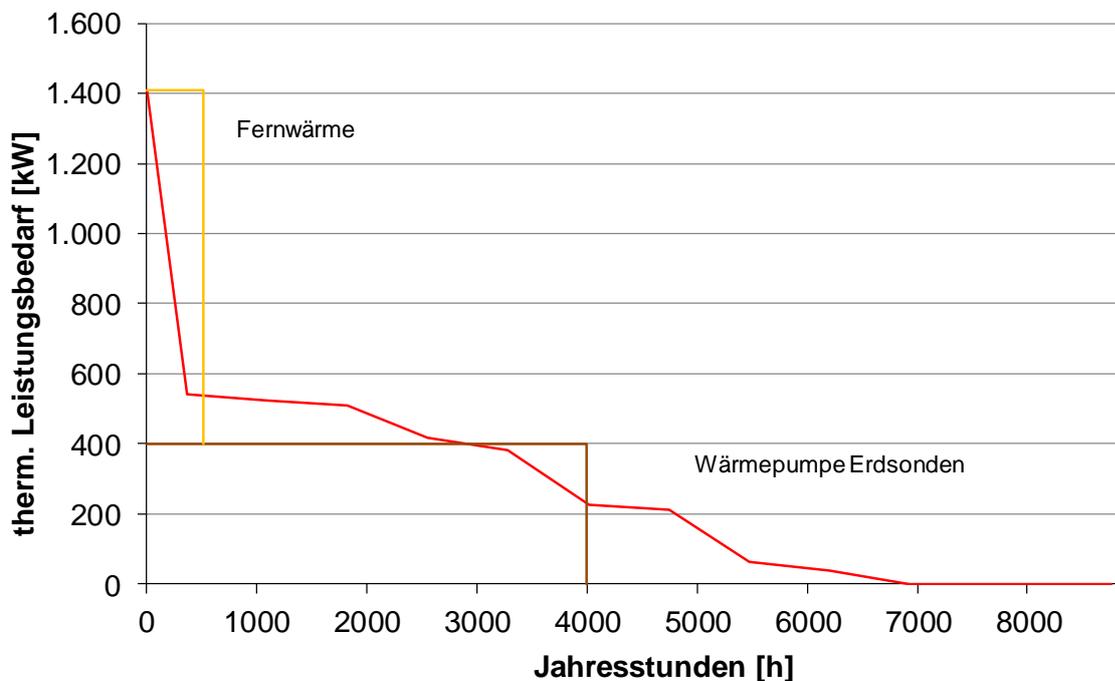


Abbildung 11: JDL Wärme der Variante 2

Tabelle 6: Wärme-Kenndaten der Variante 2

Wärmeerzeuger		WP Erdsonde	Fernwärme WVV
Nennwärmeleistung	[kW]	400	1.010
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	4.000	500
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	1.600.000	516.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	76	24
Verbrauch, Fernwärme	[kWh/a]		516.000
Verbrauch, Strom	[kWh/a]	400.000	

Kälteversorgung

Die Grundlast des Kältebedarfs wird ebenfalls über die Erdsonden bereitgestellt. Im Sommer wird dabei der Boden nicht als Wärmequelle, sondern als Wärmesenke genutzt. Es wird angenommen, dass die Erdsonden rund 78 % des Wärmebedarfs decken können. Die Spitzenlast des Kältebedarfs wird mittels einer Kompressionskälteanlage gedeckt. Bei einer angenommenen Leistungszahl von 4 werden für die Spitzenlast rund 47.000 kWh/a Strom benötigt.

4.5. Variante 3: Grundwasser-Wärmepumpe

Wärmeversorgung

In dieser Variante wird analog zu Variante 2 die Grundlast des Wärmebedarfs über eine Grundwasser-Wärmepumpe mit 400 kW bereitgestellt, die Spitzenlast über das Fernwärmenetz der WVV. Die Wärmepumpe erzeugt dabei rund 1.600 MWh/a und benötigt dafür Strom in Höhe von ca. 356 MWh/a. Bei einem überschlägig angenommenen benötigten spezifischen Durchfluss von ca. 2 m³/h Grundwasser pro 10 kW Heizleistung würde man für die Grundlastversorgung einen Durchfluss von ca. 80 m³/h oder rund 22 l/s benötigen.

Das für das Gelände der Faulenbergkaserne zuständige Wasserwirtschaftsamt Aschaffenburg sieht allerdings eine Entnahme von Grundwasser in dieser Größenordnung aufgrund der Altlastensituation als äußerst bedenklich an. Eine zuverlässige Aussage kann aber nur durch ein geologisches Bodengutachten getroffen werden.

Abbildung 12 zeigt die Jahresdauerlinie für Wärme dieser Variante, Tabelle 7 die wichtigsten Kenndaten.

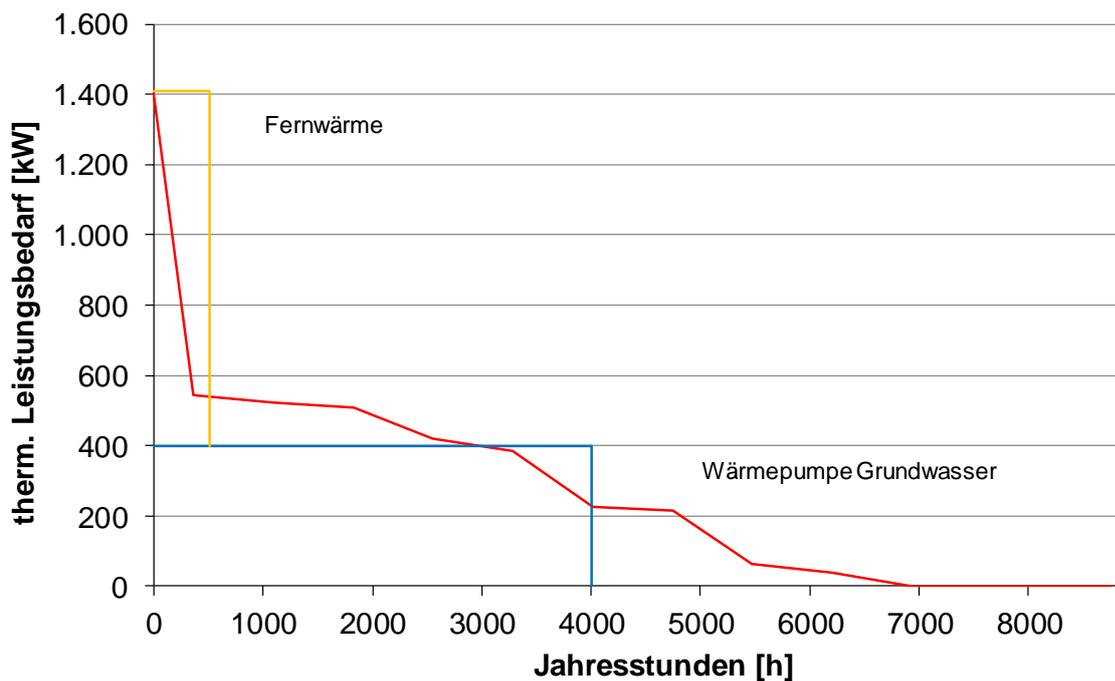


Abbildung 12: JDL Wärme der Variante 3

Tabelle 7: Wärme-Kenndaten der Variante 3

Wärmeerzeuger		WP Grundwasser	Fernwärme WVV
Nennwärmeleistung	[kW]	400	1.010
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	4.000	500
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	1.600.000	516.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	76	24
Verbrauch, Fernwärme	[kWh/a]		516.000
Verbrauch, Strom	[kWh/a]	356.000	

Kälteversorgung

Die Grundlast des Kältebedarfs wird ebenfalls über das Grundwasser bereitgestellt. Im Sommer wird dieses dabei nicht als Wärmequelle, sondern als Wärmesenke genutzt. Die Spitzenlast des Kältebedarfs wird mittels einer Kompressionskälteanlage gedeckt. Es wird angenommen, dass das Grundwasser rund 78 % des Wärmebedarfs decken können. Die Spitzenlast des Kältebedarfs wird mittels einer Kompressionskälteanlage gedeckt. Bei einer angenommenen Leistungszahl von 4 werden für die Spitzenlast rund 47.000 kWh/a Strom benötigt.

4.6. Variante 4.1: Erdgas-BHKW und Kompressionskältemaschine

Wärmeversorgung

Bei dieser Variante dient zur Deckung der Wärmegrundlast ein Erdgas-BHKW mit einer Leistung von $207 \text{ kW}_{\text{th}}$ und $140 \text{ kW}_{\text{el}}$. Es wird davon ausgegangen, dass der erzeugte Strom bilanziell in Liegenschaften der WVV verbraucht werden kann². Das BHKW hat dabei jährliche Vollbenutzungsstunden in Höhe von ca. 6.000 h/a und erzeugt dabei rund 1.242 MWh/a Wärme und ca. 840 MWh/a Strom. Dafür werden rund $2.304 \text{ MWh}_{\text{Hi}}$ /a Erdgas benötigt.

Die Spitzenlast des Wärmebedarfs wird durch das Fernwärmenetz der WVV gedeckt. Dafür werden jährlich rund 874 MWh Fernwärme benötigt.

Abbildung 13 zeigt die Jahresdauerlinie für Wärme dieser Variante, Tabelle 8 die wichtigsten Kenndaten.

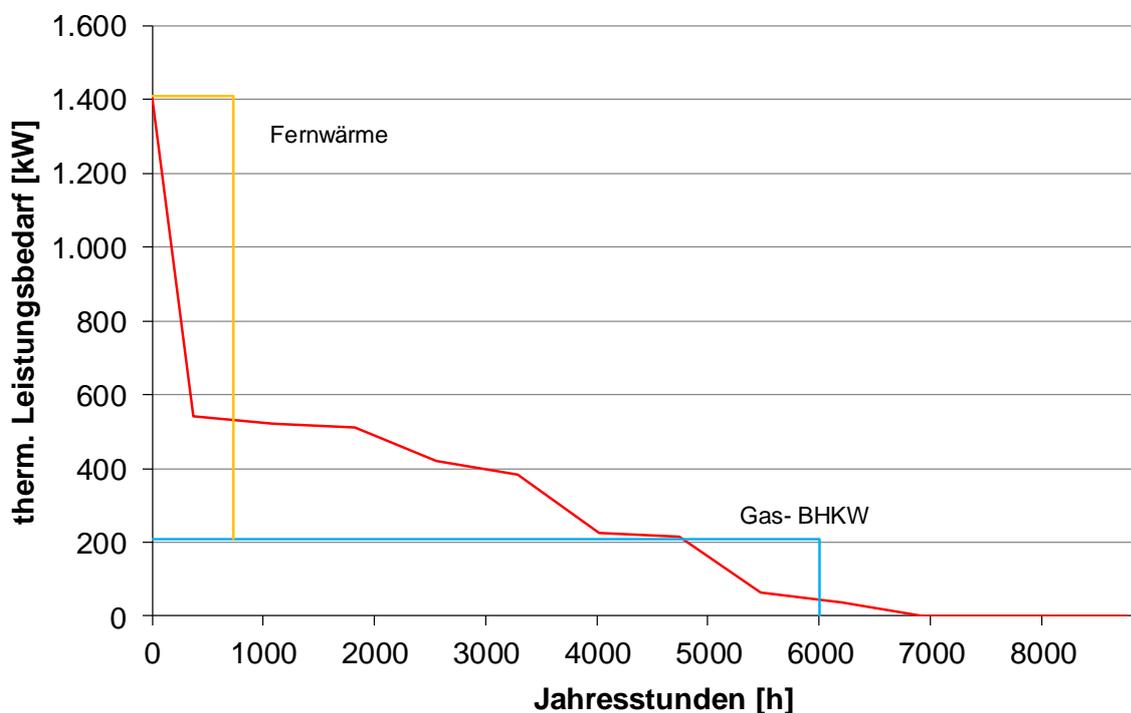


Abbildung 13: JDL Wärme der Variante 4.1

² Siehe Kapitel 5.1, S. 34, Details S.39

Tabelle 8: Wärme-Kenndaten der Variante 4.1,

Wärmeerzeuger		Gas- BHKW	Fernwärme WVV
Nennwärmeleistung	[kW]	210	1.200
Elektrische Leistung	[kW]	140	
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	6.000	700
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	1.242.000	874.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	59	41
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	840.000	
Verbrauch, Erdgas	[kWh _H /a]	2.304.000	
Verbrauch, Fernwärme	[kWh/a]		874.000

Kälteerzeugung

Die Kälteerzeugung erfolgt mittels einer zentral aufgestellten Kompressionskälteanlage. Bei einer angenommenen Leistungszahl der Kälteanlage von 4 werden dafür rund 216.000 kWh/a Strom benötigt.

4.7. Variante 4.2 Erdgas-BHKW und Absorptionskältemaschine

Wärmeerzeugung

Bei dieser Variante dient zur Deckung der Wärmegrundlast ein Erdgas-BHKW mit einer Leistung von $370 \text{ kW}_{\text{th}}$ und $240 \text{ kW}_{\text{el}}$. Es wird davon ausgegangen, dass der erzeugte Strom bilanziell in Liegenschaften der WVV verbraucht werden kann³. Zusätzlich wird im Sommer die Abwärme des BHKW genutzt, um mit einer Absorptionskälteanlage die Grundlast des Kältebedarfs zu decken. Das BHKW hat dabei jährliche Vollbenutzungsstunden in Höhe von ca. 6.500 h/a und erzeugt dabei rund 2.405 MWh/a Wärme und ca. 1.560 MWh/a Strom. Dafür werden rund 4.333 MWh_{H_i}/a Erdgas benötigt.

Die Spitzenlast des Wärmebedarfs wird durch das Fernwärmenetz der WVV gedeckt. Dafür werden jährlich rund 675 MWh Fernwärme benötigt.

Abbildung 14 zeigt die Jahresdauerlinie für Wärme dieser Variante, Tabelle 9 die wichtigsten Kenndaten.

³ Siehe Kapitel 5.1, Seite 34, Details S.39

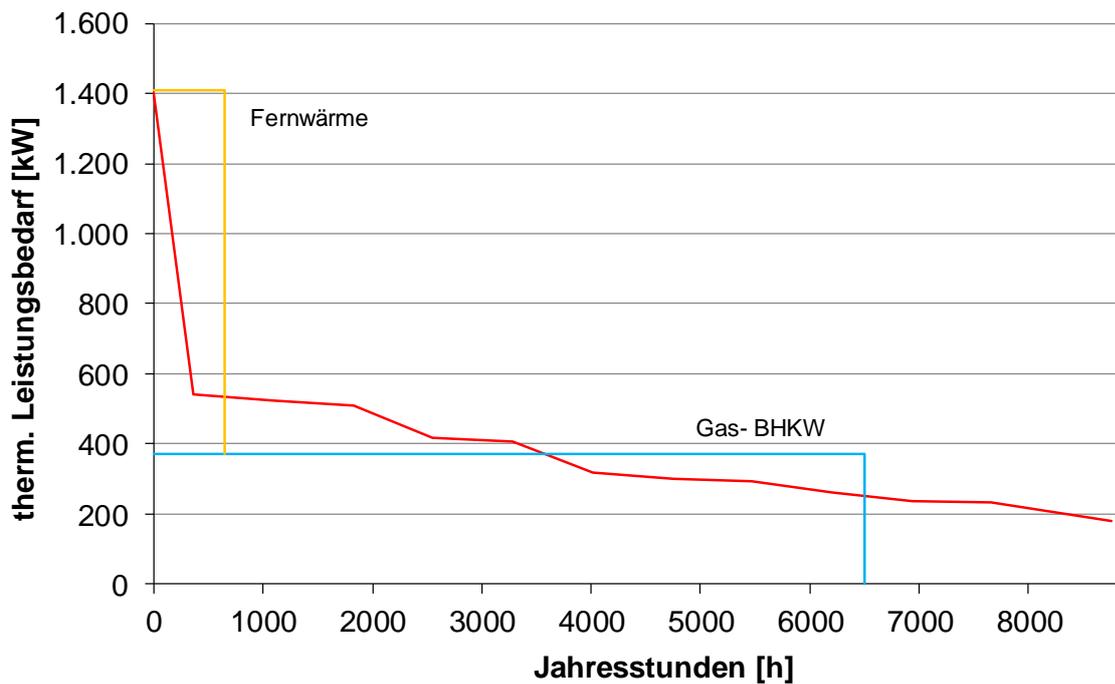


Abbildung 14: JDL Wärme der Variante 4.2

Tabelle 9: Wärme-Kenndaten der Variante 4.2

Wärmeerzeuger		Gas- BHKW	Fernwärme WVV
Nennwärmeleistung	[kW]	370	1.040
Elektrische Leistung	[kW]	240	
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	6.500	600
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	2.405.000	675.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	78	22
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	1.560.000	
Verbrauch, Erdgas	[kWh _{HI} /a]	4.333.000	
Verbrauch, Fernwärme	[kWh/a]		675.000

Kälteversorgung

Die Grundlast der Kälte wird über eine Absorptionskältemaschine mit 270 kW Leistung bereitgestellt, die mit der Abwärme des BHKW gespeist wird. Die Spitzlast des Kältebedarfs wird mittels einer Kompressionskälteanlage mit 600 kW gedeckt. Bei angenommenen 2.500 Vollbenutzungsstunden im Jahr erzeugt die Absorptionskälteanlage rund 675.000 kWh/a Kälte, was in etwa 78 % des

Kältebedarfs entspricht. Insgesamt werden dann zur Kälteerzeugung 964.000 kWh/a Wärme aus dem BHKW und 47.000 kWh/a Strom benötigt.

4.8. Variante 5.1: Biomethan-BHKW und Kompressionsmaschine

Wärmeversorgung

Analog zur Variante 4.1 dient zur Deckung der Wärmegrundlast ein Biomethan-BHKW mit einer Leistung von $207 \text{ kW}_{\text{th}}$ und $140 \text{ kW}_{\text{el}}$. Biomethan ist aufbereitetes Biogas mit der Qualität von Erdgas, das bilanziell über das Erdgasnetz bezogen werden kann. Anlagentechnisch unterscheidet sich diese Variante daher nicht von der Variante 4.1. Der erzeugte Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist und gemäß dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG 2012) vergütet. Das BHKW hat jährliche Vollbenutzungsstunden in Höhe von ca. 6.000 h/a und erzeugt dabei rund 1.242 MWh/a Wärme und ca. 840 MWh/a Strom. Dafür werden rund $2.304 \text{ MWh}_{\text{H}_2}$ /a Biomethan benötigt.

Die Spitzenlast des Wärmebedarfs wird durch das Fernwärmenetz der WVV gedeckt. Dafür werden jährlich rund 874 MWh Fernwärme benötigt.

Abbildung 15 zeigt die Jahresdauerlinie für Wärme dieser Variante, Tabelle 10 die wichtigsten Kenndaten.

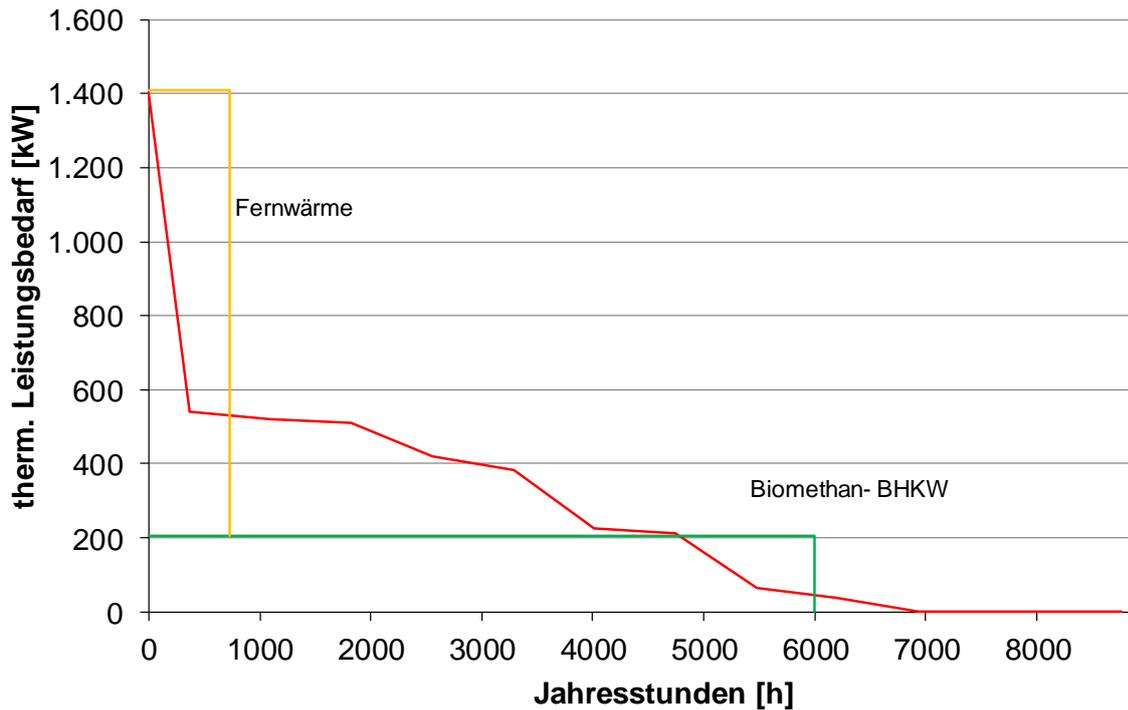


Abbildung 15: JDL Wärme der Variante 5.1

Tabelle 10: Wärme-Kenndaten der Variante 5.1

Wärmeerzeuger		Biomethan- BHKW	Fernwärme WVV
Nennwärmeleistung	[kW]	210	1.200
Elektrische Leistung	[kW]	140	
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	6.000	730
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	1.242.000	874.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	59	41
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	840.000	
Verbrauch, Biomethan	[kWh _{H₂} /a]	2.304.000	
Verbrauch, Fernwärme	[kWh/a]		874.000

Kälteversorgung

Die Kälteerzeugung erfolgt mittels einer zentral aufgestellten Kompressionskälteanlage. Bei einer angenommenen Leistungszahl der Kälteanlage von 4 werden dafür rund 216.000 kWh/a Strom benötigt.

4.9. Variante 5.2: Biomethan-BHKW und Absorptionskältemaschine

Wärmeversorgung

Analog zur Variante 4.2 dient zur Deckung der Wärmegrundlast ein Biomethan-BHKW mit einer Leistung von $370 \text{ kW}_{\text{th}}$ und $240 \text{ kW}_{\text{el}}$. Biomethan ist aufbereitetes Biogas mit der Qualität von Erdgas, das bilanziell über das Erdgasnetz bezogen werden kann. Anlagentechnisch unterscheidet sich diese Variante daher nicht von der Variante 4.2. Der erzeugte Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist und gemäß dem EEG 2012 vergütet. Zusätzlich wird im Sommer die Abwärme des BHKW genutzt, um mit einer Absorptionskälteanlage die Grundlast des Kältebedarfs zu decken. Das BHKW hat jährliche Vollbenutzungsstunden in Höhe von ca. 6.500 h/a und erzeugt dabei rund 2.405 MWh/a Wärme und ca. 1.560 MWh/a Strom. Dafür werden rund $4.333 \text{ MWh}_{\text{Hi}}/\text{a}$ Biomethan benötigt.

Die Spitzenlast des Wärmebedarfs wird durch das Fernwärmenetz der WVV gedeckt. Dafür werden jährlich rund 675 MWh Fernwärme benötigt.

Abbildung 16 zeigt die Jahresdauerlinie für Wärme dieser Variante, Tabelle 11 die wichtigsten Kenndaten.

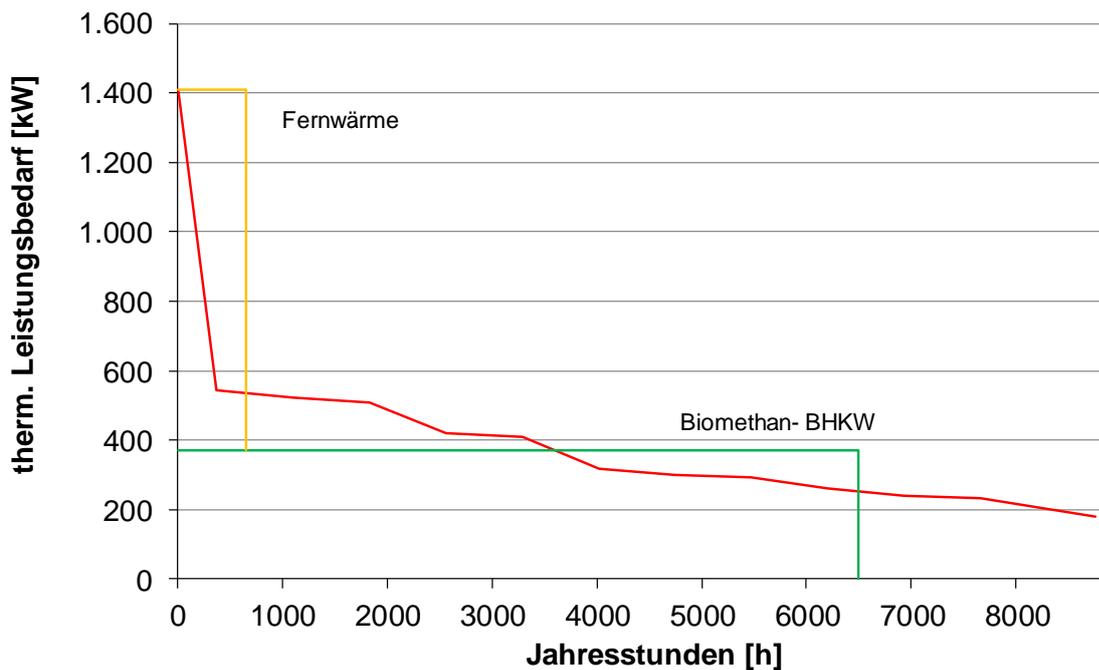


Abbildung 16: JDL Wärme der Variante 5.2

Tabelle 11: Wärme-Kenndaten der Variante 5.2

Wärmeerzeuger		Biomethan- BHKW	Fernwärme WVV
Nennwärmeleistung	[kW]	370	1.040
Elektrische Leistung	[kW]	240	
Jahresvollbenutzungsstunden	[h/a]	6.500	600
Erzeugte Jahreswärmemenge	[kWh/a]	2.405.000	675.000
Anteil an Wärmeerzeugung	[%]	78	22
Erzeugte Jahresstrommenge	[kWh/a]	1.560.000	
Verbrauch, Biomethan	[kWh _{H_i} /a]	4.333.000	
Verbrauch, Fernwärme	[kWh/a]		675.000

Kälteversorgung

Die Grundlast der Kälte wird über eine Absorptionskältemaschine mit 270 kW Leistung bereitgestellt, die mit der Abwärme des BHKW gespeist wird. Die Spitzenlast des Kältebedarfs wird mittels einer Kompressionskälteanlage mit 600 kW gedeckt. Bei angenommenen 2.500 Vollbenutzungsstunden im Jahr erzeugt die Absorptionskälteanlage rund 675.000 kWh/a Kälte, was in etwa 78 % des

Kältebedarfs entspricht. Insgesamt werden dann zur Kälteerzeugung 964.000 kWh/a Wärme aus dem BHKW und 47.000 kWh/a Strom benötigt.

4.10. Zusammenfassung: Energetischer Vergleich der betrachteten Energieversorgungsvarianten

Tabelle 12: Energetischer Vergleich der Energieversorgungsvarianten

Variante	1.0	1.1	1.2	2	3	4.1	4.2	5.1	5.2
Wärmeerzeugung	Fernwärme WWV	Fernwärme WWV	Fernwärme WWV	WP Erdsonden 400 kW th Fernwärme WWV	WP Grundwasser 400 kW th Fernwärme WWV	Gas- BHKW 207 kW th 140 kW el Fernwärme WWV	Gas- BHKW 370 kW th 240 kW el Fernwärme WWV	Biomethan- BHKW 207 kW th 140 kW el Fernwärme WWV	Biomethan- BHKW 370 kW th 240 kW el Fernwärme WWV
Kälteerzeugung	Kompression dezentral	Kompression zentral	Absorption FW Kompression	WP Erdsonden Kompression	WP Grundwasser Kompression	Absorption BHKW Kompression	Absorption BHKW Kompression	Absorption BHKW Kompression	Absorption BHKW Kompression
Wärme									
Nutzwärmebedarf	[kWh/a]	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000
Wärme für Kälte	[kWh/a]		964.000				964.000		964.000
Netzverlust	[kWh/a]	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000
Gesamtwärme	[kWh/a]	2.116.000	2.116.000	2.116.000	2.116.000	2.116.000	3.080.000	2.116.000	3.080.000
Spitzenleistungsbedarf	[kW]	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410
Kälte									
Kälte aus Kompression	[kWh/a]	864.000	864.000	189.000	189.000	864.000	189.000	864.000	189.000
Kälte aus Absorption	[kWh/a]			675.000		675.000			675.000
Kälte aus WP	[kWh/a]								
Gesamtkälte	[kWh/a]	864.000	864.000	864.000	864.000	864.000	864.000	864.000	864.000
Spitzenleistungsbedarf	[kW]	860	860	860	860	860	860	860	860
Endenergieeinsatz Wärme + Kälte									
Fernwärme	[kWh/a]								
Erdgas, heizwertbezogen	[kWh/a]	2.116.000	2.116.000	3.080.000	516.000	874.000	675.000	874.000	675.000
Biomethan, heizwertbezogen	[kWh/a]					2.304.000	4.333.000	2.304.000	4.333.000
Strom	[kWh/a]	267.000	251.000	83.000	492.000	283.000	133.000	283.000	133.000
Erzeugte Strommenge	[kWh/a]					840.000	1.560.000	840.000	1.560.000

5. Die wirtschaftliche Betrachtung der Varianten

Zunächst werden in diesem Kapitel die wirtschaftlichen Grundannahmen getroffen und erläutert. Anschließend werden die Energieversorgungsvarianten wirtschaftlich gegenübergestellt. Eine Zusammenfassung interpretiert letztendlich das Ergebnis.

5.1. Die wirtschaftlichen Grundannahmen

Die hier aufgeführten wirtschaftlichen Grundannahmen gelten für alle in dieser Studie untersuchten Versorgungsvarianten 1.1 bis 5.2, soweit nicht anders beschrieben. Basierend auf den entwickelten Energieversorgungsvarianten wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Ermittlung der wirtschaftlichsten Variante durchgeführt. Dabei werden im Rahmen einer Vollkostenrechnung nach der Annuitätenmethode in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 die Jahresgesamtkosten ermittelt. Es werden die durchschnittlichen Jahresgesamtkosten für den betrachteten Zeitraum berechnet und dargestellt. Die Jahresgesamtkosten geben an, wie viel Kosten für eine Energieversorgungsvariante unter Berücksichtigung von Kapitalkosten, Instandhaltungs- und Wartungskosten, Verbrauchskosten, sonstigen Kosten und eventuellen Einnahmen durch Stromproduktion jährlich anfallen.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung gelten folgende Grundannahmen:

- Das Bezugsjahr ist 2014.
- Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre.
- Alle Preise sind Nettopreise.
- Die wirtschaftliche Betrachtung wurde unter der Annahme durchgeführt, dass die WVV als Betreiberin der Anlagen auftritt.
- Die Abschreibungen für Neuinvestitionen erfolgen linear über 20 Jahre.
- Der kalkulatorische Zinssatz beträgt konstant 2,0 % über 20 Jahre.
- Strom aus Erdgas-BHKW wird gemäß § 5 Abs. 1 KWKG-Gesetz nur dann vergütet, wenn durch den BHKW-Einsatz keine bestehende Fernwärmeversorgung aus KWKG-Anlagen verdrängt wird. Da die juristische Situation in dieser Phase der Konzepterstellung noch unklar ist, wird die KWKG-Vergütung bei den Varianten 4.1 und 5.1 nicht berücksichtigt.

- Strom aus Erdgas-BHKW-Erzeugung wird zu 100 % in ortsnahen Liegenschaften der WVV gemäß § 37 Abs. 3 Nr. 2 EEG 2012 verbraucht wodurch sich die Strombezugskosten in diesen Liegenschaften verringern. Diese Einsparungen werden als Erlöse den Erdgas-BHKW-Varianten gutgeschrieben.
- Strom aus Biomethan-Blockheizkraftwerken wird komplett eingespeist und nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz vergütet.
- Energieangaben von Erdgas und Biomethan sind immer bezogen auf den Heizwert H_i angegeben.
- Es gilt die Gesetzeslage zum Zeitpunkt der Erstellung des Konzepts. (Juli 2013). Zukünftige Änderungen durch den Gesetzgeber können nicht berücksichtigt werden.

Eine genaue Prüfung der juristischen Umstände wird vor einer Umsetzung empfohlen.

Folgende **Kosten** bzw. **Erlöse** werden berücksichtigt:

- Investitionskosten auf Basis durchschnittlicher Nettomarktpreise für die einzelnen Komponenten werden über die Annuitätenmethode als kapitalgebundene Kosten über den Betrachtungszeitraum umgelegt.
- Betriebsgebundene Kosten für die einzelnen Anlagenkomponenten (Wartung, Instandhaltung, technische Überwachung, etc.)
- Verbrauchsgebundene Kosten (Brennstoff und Hilfsenergie).
- Sonstige Kosten (Verwaltung, Versicherung)
- Erlöse aus der Stromproduktion

Kosten

In diesem Planungsstadium können die **Investitionskosten** für die Errichtung der Wärmeversorgungsstruktur nur überschlägig festgelegt werden, wodurch die kalkulierten Kosten von den realen Kosten abweichen können. Die im Rahmen der

vorliegenden Machbarkeitsstudie angenommenen Nettoinvestitionskosten basieren ebenso wie die Brennstoff- und Betriebskosten auf durchschnittlichen Marktpreisen und nicht auf konkreten Angebotsvorlagen. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können daher die Preise von den hier Kalkulierten abweichen.

Die Investitionskosten umfassen im Einzelnen:

- Wärmeerzeuger
- Kälteerzeuger
- Netzkosten
- Umsetzungskosten (Baumaßnahmen)
- Pufferspeicher
- Mess-, Steuerung- und Regelungstechnik
- Technische Installationskosten
- Projektabwicklung
- Sonstiges (z.B. Erschließung, Baustelleneinrichtung, etc.)

Die Investitionskosten beziehen sich auf die Errichtung der Wärme- und Kälteerzeuger und das Nahwärmenetz bis einschließlich Hausübergabestation. Die Installation von Gebäudeleittechnik oder Wärmeverteilung in den einzelnen Gebäuden wird nicht berücksichtigt.

Die **betriebsgebundenen Kosten** beinhalten in erster Linie Kosten für die Wartung und Instandhaltung der einzelnen Komponenten und werden in Anlehnung an die VDI 2067 als prozentualer Anteil an den Investitionskosten ermittelt. Kosten für Kaminkehrer und technische Überwachung (z.B. Abgasmessungen) werden pauschal angesetzt.

Die **verbrauchgebundenen Kosten** setzen sich aus den Brennstoffkosten und Kosten für Hilfsenergie zusammen. Diese wurden nach intensiver Absprache mit der Würzburger Versorgungs- und Verkehrs-GmbH von diesen für das Jahr 2014 prognostiziert. Wie alle Prognosen unterliegt auch diese gewissen Unsicherheiten

und kann von den tatsächlichen Umständen abweichen. Es wurde daher für jede Position ein Minimal-, bzw. Maximalwert ermittelt und die Wirtschaftlichkeit für beide Fälle untersucht. Auch diese Minimal- und Maximalwerte können von den tatsächlichen Kosten abweichen.

Da jede Variante unterschiedliche Energiemengen benötigt (vgl. Tabelle 12), wurden dementsprechend unterschiedliche spezifische Kosten für jede Variante von der WVV zur Verfügung gestellt, dargestellt in Tabelle 13.

Die Kosten für Fernwärme in der Variante 1.2 berücksichtigen eine erhöhte Abnahme im Sommer für die Absorptionskälteanlage bei niedrigeren Kosten von Sommerwärme.

BHKW-„Stromvergütung“ beschreibt den Teil der Strombezugskosten, welcher in jenen Liegenschaften, die den Erdgas-BHKW-Strom verbrauchen, eingespart werden kann, siehe Seite 38ff.

Tabelle 13: Angenommene Energiekosten

Variante	1.0	1.1	1.2	2	3	4.1	4.2	5.1	5.2
Wärmeerzeugung	Fernwärme WWV	Fernwärme WWV	Fernwärme WWV	WP Erdsonden 400 kW _{th} Fernwärme WWV	WP Grundwasser 400 kW _{th} Fernwärme WWV	Gas- BHKW 207 kW _{th} 140 kW _{el} Fernwärme WWV	Gas- BHKW 370 kW _{th} 240 kW _{el} Fernwärme WWV	Biomethan- BHKW 207 kW _{th} 140 kW _{el} Fernwärme WWV	Biomethan- BHKW 370 kW _{th} 240 kW _{el} Fernwärme WWV
Kälteerzeugung	Kompression dezentral	Kompression zentral	Absorption FW Kompression	WP Erdsonden Kompression	WP Grundwasser Kompression	Kompression	Absorption BHKW Kompression	Kompression	Absorption BHKW Kompression
Minimale Preise									
Strom				19,0	17,7	17,8	18,3	17,9	18,3
Erdgas	18,1	18,1				5,8	5,5		
Biomethan									
Fernwärme	7,2	7,2	6,0	7,2	7,2	7,2	7,2	11,4	11,1
BHKW- "Stromvergütung"						12,0	12,0	7,2	7,2
Maximale Preise									
Strom				22,0	20,2	20,3	20,8	20,4	20,8
Erdgas	20,6	20,6				6,4	6,1		
Biomethan									
Fernwärme	7,2	7,2	6,0	7,2	7,2	7,2	7,2	11,9	11,6
BHKW- "Stromvergütung"						12,0	12,0	7,2	7,2

Die **sonstigen Kosten** umfassen Kosten für Verwaltung und Versicherung. Die Versicherungskosten werden mit 1 % der Investitionskosten für die Anlagentechnik angesetzt.

Einnahmen

Biomethan-BHKW

Erlöse ergeben sich bei Biomethan-BHKW derzeit aus der Stromeinspeisung gemäß EEG 2012 über einen Zeitraum von 20 Jahren. Die Vergütung errechnet sich aus den Vergütungssätzen für 2014.

Die Vergütung nach EEG 2012 im Bereich Biomethan setzt sich, bei einer Inbetriebnahme im Jahr 2014, folgendermaßen zusammen: Für die Vergütung des betrachteten Biomethan-BHKW werden entsprechend die Grundvergütung, eine Erhöhung nach Einsatzstoffklasse 1 sowie der Gasaufbereitungs-Bonus bis max. 700 Nm³/h berücksichtigt. Diese Qualitätsanforderungen müssen bei einer Umsetzung mit dem Biomethanlieferant vertraglich festgelegt werden. Unter Berücksichtigung der erwähnten Parameter und der im EEG 2012 verankerten jährlichen Degression ergibt sich für das Jahr 2014 eine Vergütung von 22,61 Cent/kWh erzeugtem Strom für die Variante 5.1, bzw. 22,31 Cent/kWh für die Variante 5.2.

Des Weiteren wird bei der Verwendung von Biomethan in BHKW-Anlagen eine **Steuerrückerstattung** auf den eingesetzten Brennstoff in Höhe von 0,55 Cent/kWh_{HS} gewährt (bezogen auf die Feuerungswärmeleistung der Anlage)

Erdgas-BHKW

Erlöse ergeben sich bei Erdgas-BHKW aus der Stromeinspeisung, aus vermiedenen Stromkosten durch Stromeigennutzung, der Zuschlagszahlung nach dem KWK-Gesetz und der Steuerrückerstattung. Bei der Verwendung von Erdgas in BHKW-Anlagen wird eine Steuerrückerstattung auf den eingesetzten Brennstoff in Höhe von 0,55 Cent/kWh_{HS} gewährt (bezogen auf die Feuerungswärmeleistung der Anlage). Die Einspeisevergütung wird durch das KWK-Gesetz geregelt.

Die wichtigsten Punkte bezüglich der Einspeisevergütung bei Erdgas-BHKW sind:

KWK-Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung bis 50 kW erhalten für den erzeugten KWK-Strom einen Zuschlag von 5,41 Cent/kWh - für eine Dauer von zehn Jahren oder 30.000 Volllaststunden ab Aufnahme des Dauerbetriebes. Der Leistungsanteil von 51 kW bis 250 kW wird anteilig mit 4,00 Ct/kWh vergütet.

Der KWK-Zuschlag ist auch für den KWK-Strom zu zahlen, den der Betreiber der KWK-Anlage selbst verbraucht.

Dieser Zuschlag wird entsprechend § 5 KWK-Gesetz nur dann gezahlt, wenn durch das BHKW keine bestehende Fernwärme aus KWK verdrängt wird. Derzeit ist es unklar, ob durch den Einsatz eines BHKW Fernwärme im Sinne des Gesetzes verdrängt wird. Daher wird der KWK-Zuschlag bei der wirtschaftlichen Betrachtung vorerst nicht berücksichtigt. Eine genaue Prüfung der juristischen Umstände wird vor einer Umsetzung empfohlen.

Darüber hinaus erhält der Anlagenbetreiber eine zusätzliche Vergütung vom Netzbetreiber für den eingespeisten Strom. Diese ist abhängig vom Strompreis für Baseload-Strom an der Strombörse und wird auf die vorangegangenen Quartale bezogen. Dieser Preis („üblicher Preis“) gilt als Richtpreis, der bezahlt werden muss, wenn sich der Energieversorger und der KWK-Anlagenbetreiber auf keine andere Vergütung einigen können.

Die Verpflichtung des Netzbetreibers zur Abnahme und Vergütung von KWK-Strom aus KWK-Anlagen größer 50 kW entfällt, wenn der Netzbetreiber nicht (mehr) zur Zuschlagszahlung verpflichtet ist. Die Kategorien der zuschlagsberechtigten KWK-Anlagen sind im Detail dem Gesetzestext zu entnehmen.

Es wird allerdings angenommen, dass der BHKW-Strom komplett in „ortsnahen“ Liegenschaften der Betreibergesellschaft gemäß § 37 Abs. 3 Nr. 2 EEG 2012 bilanziell verbraucht werden kann. Dadurch verringern sich in diesen Liegenschaften die Strombezugskosten. Diese Einsparung kann den Varianten 4.1 und 4.2 gut geschrieben werden. Es muss beachtet werden, dass nicht die kompletten Strombezugskosten als Einsparung angesetzt werden können. So müssen zum Beispiel für die Nutzung des öffentlichen Netzes, um den Strom in diese Liegenschaften zu „transportieren“, weiterhin Netznutzungsentgelte entrichtet

werden. Die juristischen Voraussetzungen dafür müssen vor einer Umsetzung im Detail geklärt werden.

5.2. Der wirtschaftliche Vergleich der Energieversorgungsvarianten

In Tabelle 14 und Tabelle 15 werden die verschiedenen Energieversorgungsvarianten wirtschaftlich miteinander verglichen. Die „Spez. Kosten Wärme und Kälte“ legen dabei die Jahresgesamtkosten auf die Jahresnutzwärme und –kälte um. Ebenfalls sind die einzelnen Energieverbräuche der Varianten noch einmal gezeigt. Abbildung 17 vergleicht die Jahresgesamtkosten (JGK) der verschiedenen Energieversorgungsvarianten für minimale und maximale Energiekosten.

Die Wärmepumpen-Varianten 2 und 3 müssen zunächst noch umfassend auf die technische Machbarkeit hin geprüft werden. Diese Vorbehalte sind durch den roten Rahmen in den Tabellen und Abbildungen hervorgehoben.

Tabelle 14: Vergleich der Wirtschaftlichkeit der Energieversorgungsvarianten bei minimalen Energiekosten

Angenommene Kosten für Energieträger, Minimal

Strom	[Ct/kWh]	18,1	18,1	19,0	17,7	17,8	17,9	18,3	17,9	18,3
Erdgas	[Ct/kWh Hi]						5,8	5,5		
Biomethan	[Ct/kWh Hi]								11,4	11,1
Fernwärme, Mischpreis	[Ct/kWh]	7,0	7,0	6,0	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
BHKW- "Stromeigennutzung"	[Ct/kWh]						12,0	12,0		
Zinssatz	[%]	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Variante	1.0	1.1	1.2	2	3	4.1	4.2	5.1	5.2
Wärmeerzeugung	Fernwärme WVV	Fernwärme WVV	Fernwärme WVV	WP Erdsonden 400 kW th Fernwärme WVV	WP Grundwasser 400 kW th Fernwärme WVV	Gas- BHKW 207 kW th 140 kW el Fernwärme WVV	Gas- BHKW 370 kW th 240 kW el Fernwärme WVV	Biomethan- BHKW 207 kW th 140 kW el Fernwärme WVV	Biomethan- BHKW 370 kW th 240 kW el Fernwärme WVV
Kälteerzeugung	Kompression dezentral	Kompression zentral	Absorption FW Kompression	WP Erdsonden Kompression	WP Grundwasser Kompression	Kompression	Absorption BHKW Kompression	Kompression	Absorption BHKW Kompression

Energetische Betrachtung

Wärme

Nutzwärmebedarf	[kWh/a]	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000
Wärme für Kälte	[kWh/a]			964.000				964.000		964.000
Netzverlust	[kWh/a]	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000
Gesamtwärme	[kWh/a]	2.116.000	2.116.000	3.080.000	2.116.000	2.116.000	2.116.000	3.080.000	2.116.000	3.080.000
Spitzenleistungsbedarf	[kW]	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410

Kälte

Kälte aus Kompression	[kWh/a]	864.000	864.000	189.000	189.000	189.000	864.000	189.000	864.000	189.000
Kälte aus Absorption	[kWh/a]			675.000				675.000		675.000
Kälte aus WP	[kWh/a]				675.000	675.000				
Gesamtkälte	[kWh/a]	864.000	864.000	864.000	864.000	864.000	864.000	864.000	864.000	864.000
Spitzenleistungsbedarf	[kW]	860	860	860	860	860	860	860	860	860

Endenergieeinsatz Wärme + Kälte

Fernwärme	[kWh/a]	2.116.000	2.116.000	3.080.000	516.000	516.000	874.000	675.000	874.000	675.000
Erdgas, heizwertbezogen	[kWh/a]						2.304.000	4.333.000		
Biomethan, heizwertbezogen	[kWh/a]								2.304.000	4.333.000
Strom	[kWh/a]	267.000	251.000	83.000	492.000	447.000	283.000	133.000	283.000	133.000
Erzeugte Strommenge	[kWh/a]						840.000	1.560.000	840.000	1.560.000

Wirtschaftlichkeit

Wärme

Gesamtinvestitionskosten	[€]	554.000	554.000	554.000	1.870.000	910.000	829.000	923.000	829.000	923.000
davon Netzkosten, HÜS,...	[€]	370.000	370.000	370.000	370.000	370.000	370.000	370.000	370.000	370.000
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	155.000	155.000	187.000	112.000	104.000	205.000	299.000	333.000	539.000
Kapitalgebundene Kosten	[€/a]	34.000	34.000	34.000	114.000	56.000	51.000	56.000	51.000	56.000
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	5.000	5.000	5.000	11.000	17.000	25.000	37.000	25.000	37.000
Sonstige Kosten	[€/a]	5.000	5.000	5.000	9.000	8.000	9.000	10.000	9.000	10.000
Summe Kosten	[€/a]	199.000	199.000	231.000	246.000	185.000	290.000	402.000	418.000	642.000
Stromgutschrift, gesamt	[€/a]						113.000	211.000	202.000	372.000
Eigennutzung	[€/a]						101.000	187.000		
KWK-Zuschlag	[€/a]									
EEG-Zuschlag	[€/a]								190.000	348.000
Steuerrückerstattung	[€/a]						13.000	24.000	13.000	24.000
Jahreskosten Wärme	[€/a]	199.000	199.000	231.000	246.000	185.000	176.000	191.000	215.000	271.000

Kälte

Gesamtinvestitionskosten	[€]	668.000	649.000	747.000	504.000	504.000	649.000	747.000	649.000	747.000
davon Netzkosten, HÜS,...	[€]		140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	46.000	43.000	14.000	13.000	13.000	43.000	13.000	43.000	13.000
Kapitalgebundene Kosten	[€/a]	41.000	40.000	46.000	31.000	31.000	40.000	46.000	40.000	46.000
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	18.000	12.000	22.000	8.000	13.000	12.000	22.000	12.000	22.000
Sonstige Kosten	[€/a]	10.000	10.000	11.000	7.000	7.000	10.000	11.000	10.000	11.000
Jahreskosten Kälte	[€/a]	115.000	105.000	93.000	59.000	64.000	104.000	92.000	104.000	92.000

Gesamt

Gesamtinvestitionskosten	[€]	1.222.000	1.202.000	1.301.000	2.374.000	1.414.000	1.478.000	1.671.000	1.478.000	1.671.000
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	201.000	198.000	201.000	124.000	117.000	248.000	312.000	376.000	552.000
Kapitalgebundene Kosten	[€/a]	75.000	74.000	80.000	145.000	87.000	90.000	102.000	90.000	102.000
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	23.000	17.000	28.000	19.000	31.000	37.000	59.000	37.000	59.000
Sonstige Kosten	[€/a]	15.000	14.000	16.000	16.000	15.000	18.000	21.000	18.000	21.000
Jahresgesamtkosten, Min	[€/a]	314.000	304.000	324.000	305.000	249.000	281.000	283.000	319.000	363.000
Spez. Kosten Wärme + Kälte, Min	[Ct/kWh]	10,9	10,5	11,2	10,6	8,6	9,7	9,8	11,1	12,6

Tabelle 15: Vergleich der Wirtschaftlichkeit der Energieversorgungsvarianten bei maximalen Energiekosten

Angenommene Kosten für Energieträger, Maximal

Strom	[Ct/kWh]	20,6	20,6	22,0	20,2	20,3	20,4	20,8	20,4	20,8
Erdgas	[Ct/kWh HJ]						6,4	6,1		
Biomethan	[Ct/kWh HJ]								11,9	11,6
Fernwärme, Mischpreis	[Ct/kWh]	7,0	7,0	6,0	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
BHKW- "Stromeigennutzung"	[Ct/kWh]						12,0	12,0		
Zinssatz	[%]	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Variante	1.0	1.1	1.2	2	3	4.1	4.2	5.1	5.2
Wärmeerzeugung	Fernwärme WVW	Fernwärme WVW	Fernwärme WVW	WP Erdsonden 400 kW th Fernwärme WVW	WP Grundwasser 400 kW th Fernwärme WVW	Gas- BHKW 207 kW th 140 kW el Fernwärme WVW	Gas- BHKW 370 kW th 240 kW el Fernwärme WVW	Biomethan- BHKW 207 kW th 140 kW el Fernwärme WVW	Biomethan- BHKW 370 kW th 240 kW el Fernwärme WVW
Kälteerzeugung	Kompression dezentral	Kompression zentral	Absorption FW Kompression	WP Erdsonden Kompression	WP Grundwasser Kompression	Kompression	Absorption BHKW Kompression	Kompression	Absorption BHKW Kompression

Energetische Betrachtung

Wärme

Nutzwärmebedarf	[kWh/a]	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000	2.023.000
Wärme für Kälte	[kWh/a]			964.000				964.000		964.000
Netzverlust	[kWh/a]	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000	93.000
Gesamtwärme	[kWh/a]	2.116.000	2.116.000	3.080.000	2.116.000	2.116.000	2.116.000	3.080.000	2.116.000	3.080.000
Spitzenleistungsbedarf	[kW]	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410	1.410

Kälte

Kälte aus Kompression	[kWh/a]	864.000	864.000	189.000	189.000	189.000	864.000	189.000	864.000	189.000
Kälte aus Absorption	[kWh/a]			675.000				675.000		675.000
Kälte aus WP	[kWh/a]				675.000	675.000				
Gesamtkälte	[kWh/a]	864.000	864.000	864.000	864.000	864.000	864.000	864.000	864.000	864.000
Spitzenleistungsbedarf	[kW]	860	860	860	860	860	860	860	860	860

Endenergieeinsatz Wärme + Kälte

Fernwärme	[kWh/a]	2.116.000	2.116.000	3.080.000	516.000	516.000	874.000	675.000	874.000	675.000
Erdgas, heizwertbezogen	[kWh/a]						2.304.000	4.333.000		
Biomethan, heizwertbezogen	[kWh/a]								2.304.000	4.333.000
Strom	[kWh/a]	267.000	251.000	83.000	492.000	447.000	283.000	133.000	283.000	133.000
Erzeugte Strommenge	[kWh/a]						840.000	1.560.000	840.000	1.560.000

Wirtschaftlichkeit

Wärme

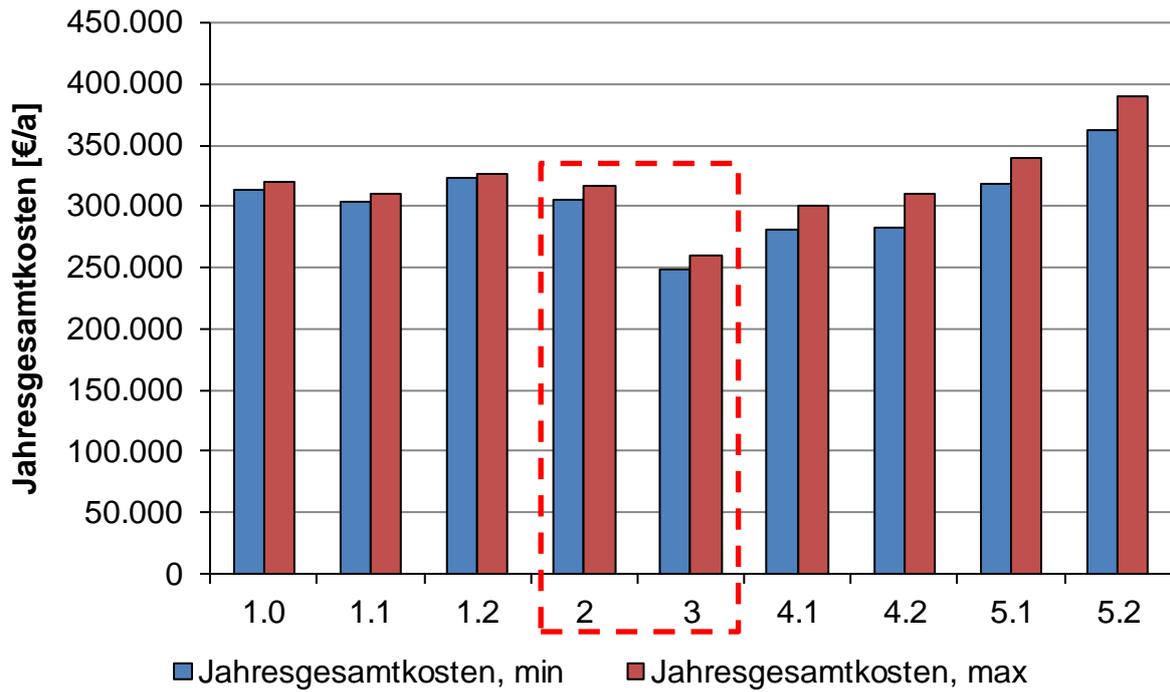
Gesamtinvestitionskosten	[€]	554.000	554.000	554.000	1.870.000	910.000	829.000	923.000	829.000	923.000
davon Netzkosten, HÜS,...	[€]	370.000	370.000	370.000	370.000	370.000	370.000	370.000	370.000	370.000
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	155.000	155.000	187.000	122.000	114.000	219.000	324.000	347.000	565.000
Kapitalgebundene Kosten	[€/a]	34.000	34.000	34.000	114.000	56.000	51.000	56.000	51.000	56.000
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	5.000	5.000	5.000	11.000	17.000	25.000	37.000	25.000	37.000
Sonstige Kosten	[€/a]	5.000	5.000	5.000	9.000	8.000	9.000	10.000	9.000	10.000
Summe Kosten	[€/a]	199.000	199.000	232.000	257.000	195.000	304.000	428.000	432.000	668.000
Stromgutschrift, gesamt	[€/a]						113.000	211.000	202.000	372.000
Eigennutzung	[€/a]						101.000	187.000		
KWK-Zuschlag	[€/a]									
EEG-Zuschlag	[€/a]								190.000	348.000
Steuerrückerstattung	[€/a]						13.000	24.000	13.000	24.000
Jahreskosten Wärme	[€/a]	199.000	199.000	232.000	257.000	195.000	190.000	217.000	229.000	296.000

Kälte

Gesamtinvestitionskosten	[€]	668.000	649.000	747.000	504.000	504.000	649.000	747.000	649.000	747.000
davon Netzkosten, HÜS,...	[€]		140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000	140.000
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	53.000	49.000	16.000	14.000	14.000	49.000	15.000	49.000	15.000
Kapitalgebundene Kosten	[€/a]	41.000	40.000	46.000	31.000	31.000	40.000	46.000	40.000	46.000
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	18.000	12.000	22.000	8.000	13.000	12.000	22.000	12.000	22.000
Sonstige Kosten	[€/a]	10.000	10.000	11.000	7.000	7.000	10.000	11.000	10.000	11.000
Jahreskosten Kälte	[€/a]	121.000	111.000	95.000	61.000	66.000	110.000	94.000	110.000	94.000

Gesamt

Gesamtinvestitionskosten	[€]	1.222.000	1.202.000	1.301.000	2.374.000	1.414.000	1.478.000	1.671.000	1.478.000	1.671.000
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	208.000	205.000	203.000	137.000	128.000	268.000	339.000	396.000	579.000
Kapitalgebundene Kosten	[€/a]	75.000	74.000	80.000	145.000	87.000	90.000	102.000	90.000	102.000
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	23.000	17.000	28.000	19.000	31.000	37.000	59.000	37.000	59.000
Sonstige Kosten	[€/a]	15.000	14.000	16.000	16.000	15.000	18.000	21.000	18.000	21.000
Jahresgesamtkosten, Max	[€/a]	320.000	310.000	326.000	317.000	261.000	300.000	311.000	339.000	390.000
Spez. Kosten Wärme + Kälte, Max	[Ct/kWh]	11,1	10,7	11,3	11,0	9,0	10,4	10,8	11,7	13,5



Variante	1.0	1.1	1.2	2	3
Kurzbezeichnung Wärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	WP Erdsonden	WP Grundwasser
Kurzbezeichnung Kälte	Kompression (dez.)	Kompression (zent.)	Absorption	WP Erdsonden	WP Grundwasser
Variante	4.1	4.2	5.1	5.2	
Kurzbezeichnung Wärme	Gas- BHKW	Gas- BHKW	Biomethan- BHKW	Biomethan- BHKW	
Kurzbezeichnung Kälte	Kompression	Absorption	Kompression	Absorption	

Abbildung 17: Vergleich der Jahresgesamtkosten der Energieversorgungsvarianten

5.3. Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die geringsten Investitionskosten fallen bei der Variante 1.1, Fernwärme und zentrale Kälteversorgung mittels Kompressionskälteanlage, an. Bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren machen die kapitalgebundenen Kosten jedoch nur einen Teil der jährlichen Gesamtausgaben aus. Daher dienen zum Vergleich der Varianten die Jahresgesamtkosten und die spezifischen Kosten.

Abbildung 17 zeigt den wirtschaftlichen Vorteil der Variante 3, Grundwasserwärmepumpe, sowohl für minimale als auch für maximale angenommene Energiekosten. Es zeigt sich auch die geringe Sensitivität auf Energiepreissteigerungen. Es wird darauf hingewiesen, dass aufgrund der Altlastensituation auf dem Gelände der Faulenbergkaserne eine Nutzung des Grundwassers und auch tiefere Bohrungen für Erdsonden sehr kritisch gesehen werden müssen. Vor Umsetzung der Varianten 2 und 3 müssen daher geologische Bodengutachten erstellt werden, und es muss nachgewiesen werden, dass die Eingriffe keine negativen Auswirkungen auf das Grundwasser haben. Etwaige zusätzliche Maßnahmen, die aufgrund zukünftiger Erkenntnisse nötig werden, werden in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht berücksichtigt.

Die Erdgas-BHKW-Varianten 4.1 und 4.2 weisen nach der Variante 3 die interessanteste Wirtschaftlichkeit auf, wobei die Variante 4.1 ohne Absorptionsanlage weniger sensibel auf Energie-Preissteigerungen reagiert. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde die Stromeigennutzung sowohl bei minimalen als auch bei maximalen Energiekosten gleich bewertet. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass bei wesentlichen Erdgaspreissteigerungen auch die Strombezugskosten steigen. Dadurch können durch die Stromeigennutzung höhere Kosten eingespart werden, was sich positiv auf die Sensitivität auswirkt. Die BHKW-Varianten unterliegen allerdings gewissen Unsicherheiten. So sind mehrere juristische Fragen derzeit noch ungeklärt, vorrangig, wie der erzeugte Strom vergütet werden kann. Zukünftige Gesetzesänderungen können die Wirtschaftlichkeit ebenfalls positiv oder negativ beeinflussen.

Die nächstbessere Wirtschaftlichkeit unter den getroffenen Annahmen weist Variante 1.1 auf. Durch einen stabilen Fernwärmepreis reagiert diese zudem relativ

unsensibel auf Preissteigerungen bei Strom oder Erdgas. Zusätzlich sind hier wie erwähnt die geringsten Investitionskosten zu erwarten.

Die höchsten Jahresgesamtkosten entstehen bei den Varianten 1.0 und 1.2 sowie den Biomethan-BHKW-Varianten 5.1 und 5.2.

6. Die ökologische Betrachtung der Varianten

Für die verschiedenen Energieversorgungsvarianten wird zur Beurteilung der ökologischen Verträglichkeit eine Bilanzierung der CO₂-Emissionen durchgeführt. Dabei wird neben dem jährlichen Brennstoffbedarf auch der Hilfsenergiebedarf (elektrische Energie) berücksichtigt. Für den Strom aus der Kraft-Wärme-Kopplung wird eine CO₂-Gutschrift angesetzt, da dieser Strom aus dem öffentlichen Netz (Strom-Mix Deutschland) ersetzt. Die CO₂-Äquivalente umfassen dabei sämtliche treibhausrelevante Gase in der gesamten Prozesskette von Förderung über Veredelung, Transport und Brennstoffeinsatz. Die spez. CO₂-Äquivalente sind in Tabelle 16 dargestellt, Tabelle 17 und Abbildung 18 zeigen den gesamten CO₂-Ausstoß der Energieversorgungsvarianten.

Tabelle 16: Spez. CO₂-Äquivalente⁴ und Primärenergiefaktoren⁵

		Strom-Mix Kraftwerkspark WVV	Strom-Mix Deutschland	Erdgas	Fernwärme	Biomethan
spez. CO ₂ -Äquivalent	[kg/MWh]	504	540	228	65	90
Primärenergiefaktor	[-]	2,6	2,6	1,1	0,19	0,5

Tabelle 17: CO₂-Ausstoß der Energieversorgungsvarianten

Variante		1.0	1.1	1.2	2	3	4.1	4.2	5.1	5.2
CO ₂ Fernwärme	[t/a]	140	140	210	40	40	60	50	60	50
CO ₂ Erdgas	[t/a]						530	990		
CO ₂ Biomethan	[t/a]								210	390
CO ₂ Strom	[t/a]	140	130	50	250	230	150	70	150	70
CO ₂ Erzeugter Strom	[t/a]						-460	-850	-460	-850
CO ₂ Gesamt	[t/a]	280	270	260	290	270	280	260	-40	-340

Variante	1.0	1.1	1.2	2	3
Kurzbezeichnung Wärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	WP Erdsonden	WP Grundwasser
Kurzbezeichnung Kälte	Kompression (dez.)	Kompression (zent.)	Absorption	WP Erdsonden	WP Grundwasser

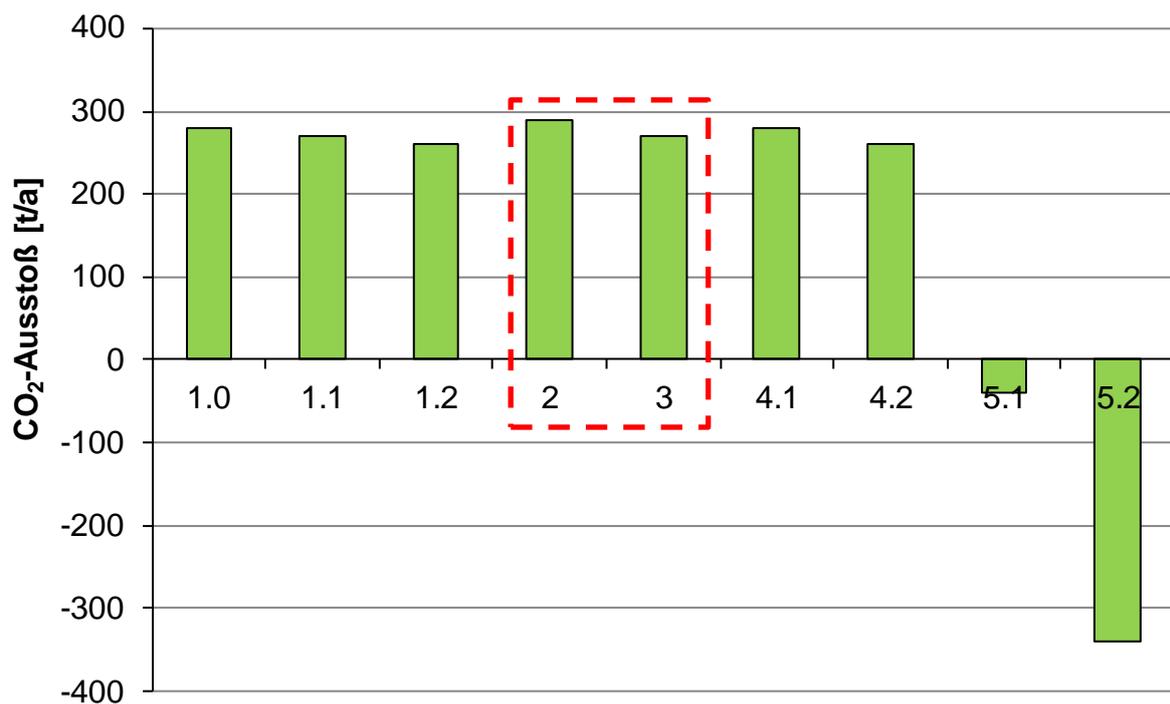
Variante	4.1	4.2	5.1	5.2
Kurzbezeichnung Wärme	Gas- BHKW	Gas- BHKW	Biomethan- BHKW	Biomethan- BHKW
Kurzbezeichnung Kälte	Kompression	Absorption	Kompression	Absorption

⁴ Strom-Mix Kraftwerkspark WVV, Fernwärme: WVV

Strom-Mix Deutschland, Biomethan und Erdgas: Eco Region

⁵ Fernwärme: WVV

Sonstige: EnEV 2009



Variante	1.0	1.1	1.2	2	3
Kurzbezeichnung Wärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	WP Erdsonden	WP Grundwasser
Kurzbezeichnung Kälte	Kompression (dez.)	Kompression (zent.)	Absorption	WP Erdsonden	WP Grundwasser
Variante	4.1	4.2	5.1	5.2	
Kurzbezeichnung Wärme	Gas- BHKW	Gas- BHKW	Biomethan- BHKW	Biomethan- BHKW	
Kurzbezeichnung Kälte	Kompression	Absorption	Kompression	Absorption	

Abbildung 18: CO₂-Ausstoß der Energieversorgungsvarianten

Als Vergleichswert kann der CO₂-Ausstoß bei Einsatz eines zentral aufgestellten, konventionellen Gaskessels und einer Kompressionskälteanlage in Höhe von rund 670 t/a herangezogen werden. Es zeigt sich, dass alle Varianten aus ökologischer Sicht vorteilhafter gegenüber einer reinen Erdgasfeuerung sind. Das deutlich günstigste Ergebnis der Emissionsbetrachtung weisen die Biomethanvarianten 5.1 und 5.2 auf.

Die Varianten 1.0 bis 4.2 liegen auf einem untereinander vergleichbaren Niveau. Die Variante 1.2, Fernwärme und Absorptionskälteanlage, und die Variante 4.2, Erdgas-BHKW und Absorptionskälteanlage, weisen nach den Varianten mit Biomethan-BHKW den geringsten jährlichen CO₂-Ausstoß auf.

Ein weiterer Kennwert für die ökologische Bewertung ist der Primärenergiebedarf der Varianten. Der Primärenergiebedarf beinhaltet neben der Nutzenergie, die in den

Gebäuden benötigt wird, auch diejenige Energie, die in der kompletten Prozesskette für die Bereitstellung des Energieträgers aufgewendet werden muss, also für Förderung, Umwandlung oder Verteilung. In Tabelle 16 sind die angewendeten Primärenergiefaktoren gezeigt.

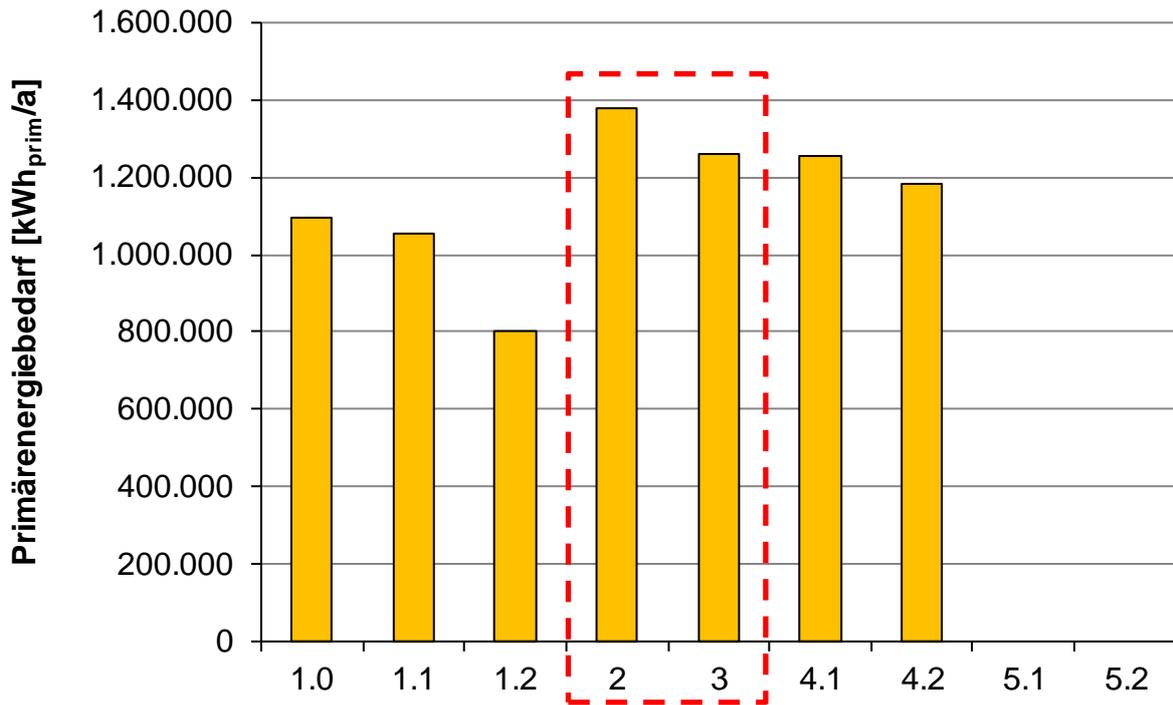
In Tabelle 18 und Abbildung 19 ist der Primärenergiebedarf der Energieversorgungsvarianten dargestellt. Als Vergleich dienen wieder der zentrale Erdgaskessel und die dezentralen Kältemaschinen mit einem Primärenergiebedarf von rund 3.281.000 kWh_{prim}/a

Tabelle 18: Primärenergiebedarf der Energieversorgungsvarianten

Variante	1.0	1.1	1.2	2	3	4.1	4.2	5.1	5.2
PE Fernwärme [kWh _{prim} /a]	402.000	402.000	585.000	98.000	98.000	166.000	128.000	166.000	128.000
PE Erdgas [kWh _{prim} /a]						2.535.000	4.767.000		
PE Biomethan [kWh _{prim} /a]								1.152.000	2.167.000
PE Strom [kWh _{prim} /a]	695.000	654.000	215.000	1.279.000	1.162.000	737.000	345.000	737.000	345.000
PE Erzeugter Strom [kWh _{prim} /a]						-2.184.000	-4.056.000	-2.184.000	-4.056.000
PE Gesamt [kWh _{prim} /a]	1.097.000	1.056.000	800.000	1.377.000	1.260.000	1.254.000	1.184.000	0	0

Variante	1.0	1.1	1.2	2	3
Kurzbezeichnung Wärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	WP Erdsonden	WP Grundwasser
Kurzbezeichnung Kälte	Kompression (dez.)	Kompression (zent.)	Absorption	WP Erdsonden	WP Grundwasser

Variante	4.1	4.2	5.1	5.2
Kurzbezeichnung Wärme	Gas- BHKW	Gas- BHKW	Biomethan- BHKW	Biomethan- BHKW
Kurzbezeichnung Kälte	Kompression	Absorption	Kompression	Absorption



Variante	1.0	1.1	1.2	2	3
Kurzbezeichnung Wärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	WP Erdsonden	WP Grundwasser
Kurzbezeichnung Kälte	Kompression (dez.)	Kompression (zent.)	Absorption	WP Erdsonden	WP Grundwasser
Variante	4.1	4.2	5.1	5.2	
Kurzbezeichnung Wärme	Gas- BHKW	Gas- BHKW	Biomethan- BHKW	Biomethan- BHKW	
Kurzbezeichnung Kälte	Kompression	Absorption	Kompression	Absorption	

Abbildung 19: Primärenergiebedarf der Energieversorgungsvarianten

Den geringsten Primärenergiebedarf weisen die Varianten 5.1 und 5.2 (jeweils Biomethan-BHKW) auf, gefolgt von den Varianten 1.0 – 1.2 (kompletter Wärmebedarf über die Fernwärme gedeckt).

7. Zusammenfassung

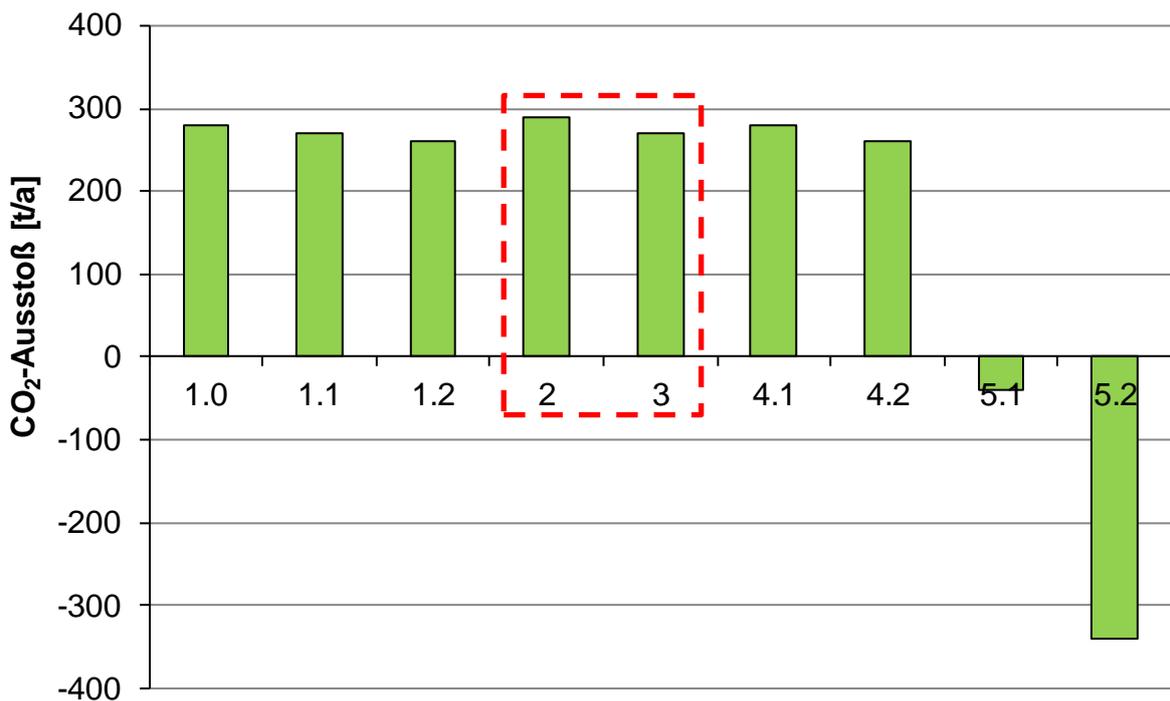
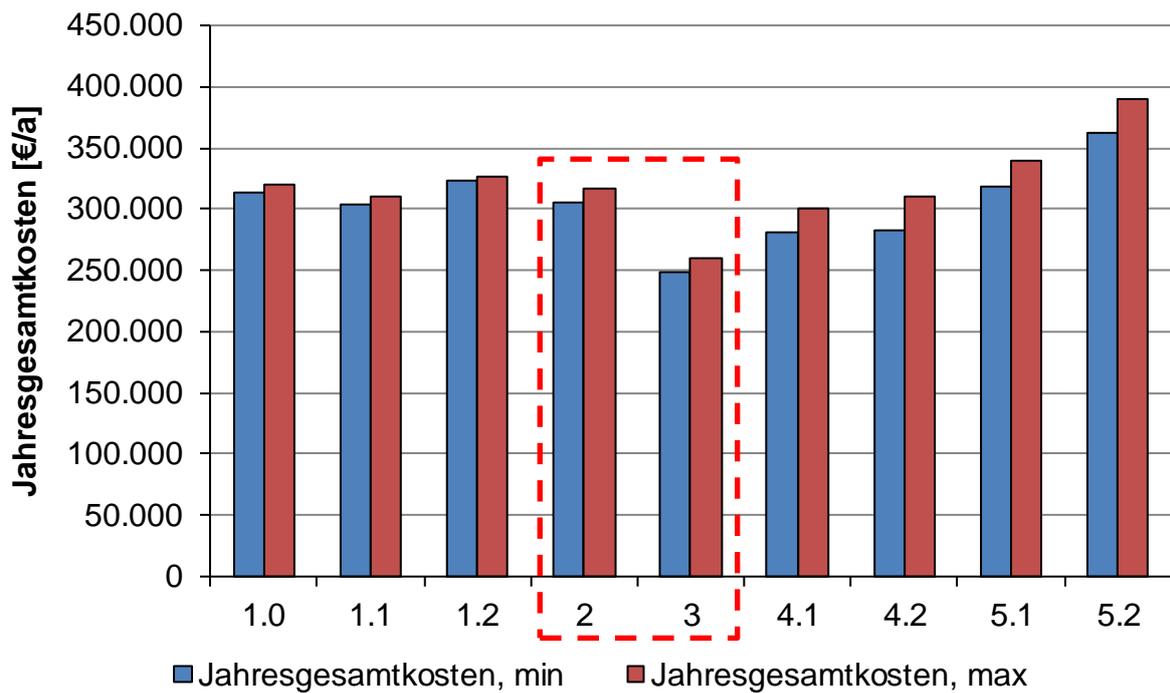
In den vorangegangenen Kapiteln wurden verschiedenen Energieversorgungsvarianten entwickelt und ökonomisch wie ökologisch mit Zahlen hinterlegt. Die wesentlichen Erkenntnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in Kapitel 5.3 ausführlich beschrieben. Die unter den getroffenen Annahmen wirtschaftlichste Variante sieht den Einsatz einer Grundwasser-Wärmepumpe vor. Allerdings gibt es hier aufgrund der Altlastensituation noch große Vorbehalte vonseiten des Wasserwirtschaftsamtes, weswegen diese Varianten gesondert betrachtet werden müssen.

Unter den verbleibenden Varianten zeigt die Variante 4.1, Erdgas-BHKW und Kompressionskälteanlage, die beste Wirtschaftlichkeit. Hier können sich aber durch Gesetzesänderungen – z.B. bezüglich der Einspeisevergütung, neuer Möglichkeiten der Vermarktung von KWK-Strom oder Steuervergünstigungen – Änderungen in der Wirtschaftlichkeit ergeben.

Die ökologische Betrachtung ist in Kapitel 6 aufgeführt. Die Varianten mit Biomethan-BHKW erreichen hier das beste Ergebnis. Festzuhalten ist, dass alle Varianten eine wesentlich bessere ökologische Bilanz aufweisen, als eine klassische Versorgung mit dezentralen Erdgaskesseln und dezentralen Kompressionskälteanlagen.

Abbildung 20 zeigt nochmals die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und die CO₂-Bilanzen der Varianten.

Auf diese Studie aufbauend können zukünftige Planungen weiter vertieft werden. Die Studie bietet Hinweise, welche Konzepte einen ökologischen oder ökonomischen Vorteil bieten und je nach Priorität können die entsprechenden Varianten detailliert untersucht werden.



Variante	1.0	1.1	1.2	2	3
Kurzbezeichnung Wärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	WP Erdsonden	WP Grundwasser
Kurzbezeichnung Kälte	Kompression (dez.)	Kompression (zent.)	Absorption	WP Erdsonden	WP Grundwasser
Variante	4.1	4.2	5.1	5.2	
Kurzbezeichnung Wärme	Gas- BHKW	Gas- BHKW	Biomethan- BHKW	Biomethan- BHKW	
Kurzbezeichnung Kälte	Kompression	Absorption	Kompression	Absorption	

Abbildung 20: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und CO₂-Bilanz

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Luftaufnahme des Geländes „Faulenbergkaserne“ [Quelle: http://geoportal.bayern.de/bayernatlas , Abgerufen am 12.10.2013]	1
Abbildung 2: Wärme- und Kältebedarf in der Faulenbergkaserne – West	2
Abbildung 3: Der monatliche Wärmebedarf im Verbund, inkl. Netzverluste	6
Abbildung 4: Die thermische Jahresdauerlinie für Wärme im Verbund, inkl. Netzverluste	7
Abbildung 5: Der monatliche Kältebedarf im Verbund	8
Abbildung 6: Die thermische Jahresdauerlinie für Kälte im Verbund	9
Abbildung 7: Der monatliche Bedarf an Wärme und Wärme für Absorptionskälte im Verbund, inkl. Netzverluste	11
Abbildung 8: Vergleich der Jahresdauerlinien für Wärme im Verbund, inkl. Netzverluste	11
Abbildung 9: JDL Wärme der Variante 1.1	14
Abbildung 10: JDL Wärme der Variante 1.2	16
Abbildung 11: JDL Wärme der Variante 2	18
Abbildung 12: JDL Wärme der Variante 3	21
Abbildung 13: JDL Wärme der Variante 4.1	22
Abbildung 14: JDL Wärme der Variante 4.2	25
Abbildung 15: JDL Wärme der Variante 5.1	28
Abbildung 16: JDL Wärme der Variante 5.2	30
Abbildung 17: Vergleich der Jahresgesamtkosten der Energieversorgungsvarianten	44
Abbildung 18: CO ₂ -Ausstoß der Energieversorgungsvarianten	48
Abbildung 19: Primärenergiebedarf der Energieversorgungsvarianten	50
Abbildung 20: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und CO ₂ -Bilanz	52

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kennzahlen des Wärmenetzes	4
Tabelle 2: Kennzahlen des Kältenetzes	4
Tabelle 3: Die betrachteten Varianten	12
Tabelle 4: Wärme-Kenndaten der Variante 1.1	14
Tabelle 5: Wärme-Kenndaten der Variante 1.2	16
Tabelle 6: Wärme-Kenndaten der Variante 2	19
Tabelle 7: Wärme-Kenndaten der Variante 3	21
Tabelle 8: Wärme-Kenndaten der Variante 4.1	23
Tabelle 9: Wärme-Kenndaten der Variante 4.2	25
Tabelle 10: Wärme-Kenndaten der Variante 5.1	28
Tabelle 11: Wärme-Kenndaten der Variante 5.2	30
Tabelle 12: Energetischer Vergleich der Energieversorgungsvarianten	32
Tabelle 13: Angenommene Energiekosten.....	37
Tabelle 14: Vergleich der Wirtschaftlichkeit der Energieversorgungsvarianten bei minimalen Energiekosten	42
Tabelle 15: Vergleich der Wirtschaftlichkeit der Energieversorgungsvarianten bei maximalen Energiekosten	43
Tabelle 16: Spez. CO ₂ -Äquivalente und Primärenergiefaktoren	47
Tabelle 17: CO ₂ -Ausstoß der Energieversorgungsvarianten	47
Tabelle 18: Primärenergiebedarf der Energieversorgungsvarianten	49