



Stand: 22.09.2023



Gemeinde  
**Kettenkamp**



**Auftraggeber**

Gemeinde Kettenkamp  
Hauptstraße 11  
49577 Kettenkamp  
Tel.: +49 1573 7299 582  
Ansprechpartner: Michael Johanning

**Auftragnehmer**

Energielenker projects GmbH  
Hüttruper Heide 90  
48268 Greven  
Tel.: +49 15 17 28 69 891  
Ansprechpartner: Viktor Gering

**Lesehinweis**

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde im vorliegenden Bericht bei Personenbezeichnungen in der Regel die maskuline Form verwendet. Diese schließt jedoch gleichermaßen die feminine Form mit ein. Die Leserinnen und Leser werden dafür um Verständnis gebeten.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	5
TABELLENVERZEICHNIS.....	5
1 AUFGABENSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE .....	6
1.1 Projektbeschreibung und Zielsetzung .....	6
1.2 Methodisches Vorgehen .....	7
2 BEDARFSANALYSE.....	8
2.1 Übersicht der Gebäude .....	8
2.2 Bedarfsanalyse Wärme.....	9
2.3 Bedarfsanalyse Strom.....	10
3 POTENZIALANALYSE .....	12
3.1 Geothermie .....	12
3.2 Fließendes Gewässer als Wärmequelle .....	13
3.3 Regenrückhaltebecken als Wärmequelle.....	14
3.4 Photovoltaik .....	14
3.4.1 Technische Optimierung der PV-Nutzung.....	16
3.4.2 Wirtschaftliche Optimierung der PV-Anlagen .....	17
4 VARIANTEN DER WÄRMEVERSORGUNG .....	18
4.1 V1: Kaltes Netz, Erdsondenfeld mit dezentralen Wärmepumpen.....	19
4.2 V2: Kaltes Netz, Erdsondenfeld mit dezentralen Wärmepumpen & RRB21	
4.3 V3: Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen .....	22
4.4 V4: Dezentrale Pelletkessel .....	24
4.5 V5: Fern- & Nahwärmenetz mit Biomasse .....	25
4.6 Zusammenfassung der Auslegung.....	26
5 FÖRDERMÖGLICHKEITEN.....	27
6 ERGEBNISSE .....	28
6.1 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsberechnung .....	28
6.2 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	29
6.3 CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	30
6.4 Ergebnisse der Emissionsanalyse.....	31
6.5 Bewertung der Ergebnisse und Fazit.....	32
6.6 Nächste Schritte .....	34

7 ANHANG ..... 35

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1: Lageplan (Ahrens + Partner Architektengesellschaft mbH) .....	6
Abbildung 2-1: Angepasste Darstellung, Ahrens+Pörtner Architekturgesellschaft mbH .....	8
Abbildung 3-1: Einschränkungen Wasserschutz (LBEG) .....	12
Abbildung 3-2: Wärmeleitfähigkeit in der Umgebung (LBEG).....	13
Abbildung 3-3: Mögliche PV-Belegung der Dachflächen.....	15
Abbildung 3-4: Beispiel: Kostendeckender Wärmepreis zur PV-Leistung.....	17
Abbildung 4-1: Schema Kaltes Netz, Erdsondenfeld, dezentrale Wärmepumpen & PV.....	19
Abbildung 4-2: Schema kaltes Netz mit RRB .....	21
Abbildung 4-3: Schema dezentrale Versorgung, Luft-Wasser-Wärmepumpen & PV.....	22
Abbildung 4-4: Schema Pelletkessel .....	24
Abbildung 4-5: Schema Fern- & Nahwärmenetz .....	25
Abbildung 6-1: CO <sub>2</sub> -Emissionen der Varianten .....	31
Abbildung 6-2: CO <sub>2</sub> -Emissionen der Varianten, Anteile .....	31
Abbildung 6-3: Primärenergieeinsatz .....	32

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Ergebnisse Bedarfsermittlung Wärme/Kälte .....	9
Tabelle 2-2: Ergebnisse Bedarfsermittlung Strom .....	11
Tabelle 3-1: PV-Potential.....	15
Tabelle 4-1: Eckdaten Energieerzeugung der Varianten .....	26
Tabelle 5-1: Fördersätze der Varianten .....	27
Tabelle 6-1: Kostenentwicklung Strom .....	28
Tabelle 6-2: Kostenentwicklung Pellets.....	28
Tabelle 6-3: Investitions- & jährliche Kosten .....	29
Tabelle 6-4: Jährliche Kosten .....	29
Tabelle 6-5: Übersicht der CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	30
Tabelle 6-6: Übersicht der Primärenergiefaktoren .....	30
Tabelle 6-7: Ergebnisse der Emissionsanalyse.....	32
Tabelle 6-8: Bewertungsmatrix.....	33
Tabelle 6-9: Übersicht Wärmepreise ab 2043.....	34

# 1 AUFGABENSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE

## 1.1 Projektbeschreibung und Zielsetzung

In der Gemeinde Kettenkamp soll als eine Art „Leuchtturmprojekt“, eine Klimaschutzsiedlung entstehen. Es handelt sich dabei um ein etwa 3,6 ha großes Areal im Norden der Gemeinde, unmittelbar am Rande des FFH-Gebiets „Bäche im Artland“ sowie eines Landschaftsschutzgebietes. Aufgrund der sensiblen Lage soll hier eine ökologisch ausgerichtete Wohnsiedlung mit ca. 50 Wohneinheiten in etwa 15 Gebäuden (Doppel-, Reihen- und Mehrfamilienhäuser) entstehen.

Um diesem Anspruch gerecht zu werden, wird eine nachhaltige und wirtschaftliche Energieversorgung entwickelt. Dieses Energieversorgungskonzept soll die wesentlichen technischen und wirtschaftlichen Rahmenparameter (inklusive Förderkulissen) aufzeigen.



Abbildung 1-1: Lageplan (Ahrens + Partner Architektengesellschaft mbH)

Ziel des Energieversorgungskonzeptes ist es, den Einsatz innovativer, nachhaltiger und wirtschaftlicher Energieversorgungsmöglichkeiten zu überprüfen und zu bewerten. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Umweltauswirkungen, Energieeffizienz und die Realisierbarkeit gelegt.

Um dem Anspruch einer zukunftsweisenden Neubausiedlung gerecht zu werden, sollen unterschiedliche Varianten zur Energieversorgung durch die energienker projects GmbH betrachtet werden. Die Gegenüberstellung der Varianten soll dabei als Grundlage zur Entscheidungsfindung in die Planung einfließen.

## 1.2 Methodisches Vorgehen

Im Rahmen des energetischen Versorgungskonzeptes erfolgt zunächst die Erfassung und Analyse der energetischen Rahmenbedingungen der Energieverbraucher. Im Fokus stehen hierbei die Ermittlung der Verbräuche, Simulation der Lastgänge und Abstimmungen mit den Projektpartnern. Dies bildet die Grundlage für die Berechnung des Heizwärmebedarfs, des Gesamtwärmebedarfs und des Strombedarfs.

Es werden gegebenenfalls benötigte Flächen, wie z.B. Geothermie für die Wärmeerzeugung, benannt und kommuniziert.

Auf Grundlage der Bedarfsanalyse werden unterschiedliche Energieversorgungskonzepte herausgearbeitet. Für diese Konzepte folgen technische Beschreibungen, Potenzialanalysen für erneuerbare Energien, Kostenermittlungen und als Ergebnis ein Wirtschaftlichkeits- und Ökologievergleich. Ziel ist es dabei, eine technisch umsetzbare, wirtschaftlich sinnvolle und energetisch effiziente Variante herauszuarbeiten. Der Fokus liegt dabei auf einem möglichst niedrigen Primärenergiefaktor, einem möglichst günstigen Wärmepreis, sowie einer Optimierung der Betriebs-, Wartungs- und Instandhaltungsaufwände durch Lebenszyklusbetrachtungen der Anlagen. Die kaufmännischen Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Die Berechnungen erfolgen unter den Rahmenbedingungen aktueller und für die zukünftigen Jahre bereits bekannter regulatorischer, gesetzlicher und förder technischer Kenntnisse (CO<sub>2</sub>-Bepreisung, etc.). Förderkulissen werden recherchiert und in den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen separat ausgewiesen und berücksichtigt.

Abschließend werden die Ergebnisse zusammengefasst, um die Vorzugsvariante zu identifizieren.

## 2 BEDARFSANALYSE

### 2.1 Übersicht der Gebäude

Die nachfolgende Darstellung zeigt die Gebäude der Klimaschutzsiedlung und dessen Bezeichnungen. Die Kennzeichnung stellt vier Zahlen, getrennt durch einen Punkt, dar.



Abbildung 2-1: Angepasste Darstellung, Ahrens+Pörtner Architekturgesellschaft mbH

Die erste Zahl (21 & 26) steht für die Nummer des Bebauungsplans. Das Gebiet ist unterteilt in die Bebauungspläne Nr. 21 und Nr. 26. Zudem kennzeichnet die zweite Zahl den Gebäudetyp innerhalb des B-Plans. Die dritte Zahl entspricht einer Nummerierung der Gebäude. Die vierte

Zahl nummeriert die Wärmeabnehmer, kann aber je nach Variante und genauerer Gestaltung der Heizungstechnik abweichend ausfallen.

Die Dächer der Gebäude 26.1.[...] sind Flachdächer, wohingegen alle anderen Gebäude mit Schrägdächern ausgestattet sind. Die Gebäude mit der Kennzeichnung 26.3[...] werden als Ketten- bzw. Reihenhäuser ausgeführt. Die Gebäude mit Flachdächern sollen als Mehrfamilienhäuser realisiert werden. Als Doppelhäuser (Doppelhaushälften) werden die Gebäude der Kennzeichnungen 26.2[...] und 21.3[...] ausgeführt. Alle anderen werden als Einzelhäuser umgesetzt. Insgesamt gibt es also diverse Gebäudetypen die ein bis drei Vollgeschosse aufweisen.

Am östlichen Rand des Gebiets verläuft der Eggermühlenbach. Zudem gibt es am nördlichen Rand ein Regenrückhaltebecken. Das Wohngebiet umschließt den Netto-Markt und dessen Parkplatz.

## 2.2 Bedarfsanalyse Wärme

Grundlage der Bedarfsanalyse bilden die zur Verfügung gestellten Daten (Lageplan, Anzahl Geschosse, Gebäudetypen) sowie die Festlegungen bzgl. des angestrebten energetischen Standards „KFW EH“ für alle Gebäude. Die Gebäude werden nach der Größe der Wohneinheiten (NRF) typisiert, wodurch Bedarfe für jeden Typ entstehen. Die Summe der Bedarfe aller Typen entspricht dem Gesamtbedarf aller Gebäude.

Festlegungen zur Bedarfsanalyse

- Ziel des energetischen Standards für Neubauten: Mindestens KFW EH40
- Vorlauftemperatur der Heizungsanlage von ca. 38 °C mit Flächenheizkörpern
- Bereitung von Trinkwarmwasser (TWW) durch den primären Wärmerzeuger (z. B. keine elektrischen Durchlauferhitzer)
- Spezifischer Wärmebedarf ca. 35,6 – 41,3 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) je nach Größe der Wohneinheit
- Der theoretische Kältebedarf entspricht ca. 5% des Wärmebedarfes und wird nicht weiter als zu deckender Bedarf betrachtet

Aus den Flächen der Gebäude und der Zuordnung eines spezifischen Wärmebedarfes ergeben sich die gesamten Wärmebedarfe pro Gebäudetyp. Diese sind nachfolgend dargestellt.

Tabelle 2-1: Ergebnisse Bedarfsermittlung Wärme/Kälte

Typ, Bezeichnung	NRF pro Typ [m <sup>2</sup> ]	Wärme [kWh/a]	Heizen [kWh/a]	TWW [kWh/a]	Kälte [kWh/a]
N1 Kleine WE	718	27	19	8,1	1,3
N2 Mittel-Kleine WE	2.696	96	65	30,3	4,8
N3 Mittel-Große WE	2.145	72	48	24,1	3,6
N4 Große WE	660	21	14	7,4	1,1
<b>Summe</b>	<b>6.218</b>	<b>216</b>	<b>146</b>	<b>70</b>	<b>10,8</b>

## 2.3 Bedarfsanalyse Strom

Aus statistischen Werten lässt sich der Bedarf an elektrischer Energie ermitteln. Dieser liegt bei Wohngebäuden bei etwa 27,5 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). Dieser Bedarf stellt den allgemeinen Bedarf für Verbraucher wie z. B. Beleuchtung und Haushaltsgeräte dar.

Aufgrund der zunehmenden Anzahl von elektrischen Fahrzeugen kommt zu dem allgemeinen Bedarf der Strombedarf der E-Mobilität hinzu. Anhand einiger Ziele der Bundesregierung und von Prognosen lässt sich der zukünftige Strombedarf zum Laden der E-KFZ abschätzen.

- 15 Mio. E-Autos bis 2030 – Ziel der Bundesregierung<sup>1</sup>
- 50% Marktanteil für E-Autos bis 2040 - Studie<sup>2</sup>
- Zunahme PKW-Bestand - Analyse<sup>3</sup>
- Entwicklung PKW – Szenarien<sup>4</sup>

Nach dem Ziel der Bundesregierung sollen in Deutschland ca. 15 Mio. E-KFZ im Jahr 2030 zugelassen sein. Auf Basis dieses Zieles wird der Strombedarf für die E-Mobilität für das Quartier skaliert. Im Landkreis Osnabrück gibt es aktuell ca. 336.200 Einwohner und etwa 8.370 zugelassene elektrische Fahrzeuge<sup>5</sup>. Somit gibt es ca. 43 Einwohner pro E-Fahrzeug bzw. 0,0229 E-Fahrzeuge pro Einwohner. Im Quartier der Klimaschutzsiedlung „Im Hagen“ werden etwa 125 Bewohner erwartet, woraus sich ein Bestand von ca. 3 E-Fahrzeugen ergibt. Entsprechend dem Ziel von 2030 werden es voraussichtlich etwa 23 Fahrzeuge sein.

Um der folgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung gerecht zu werden, die sich auf einen Zeitraum von 20 Jahren bezieht, wird die Entwicklung anhand der vorab genannten Ziele und Prognosen berechnet. Hieraus ergibt sich für jedes Jahr eine Anzahl an E-Fahrzeugen. Diese Anzahl wird in BEV (Batterieelektrisch, vollelektrisch) und PHEV (Plug-In-Hybrid) aufgeteilt. Bis 2050 soll der Anteil an BEV auf 95% steigen, wodurch der Anteil der PHEV auf 5% sinkt.

Als Mittelwert der Jahre 2025 bis 2045 ergibt sich somit ein Strombedarf von ca. 59.300 kWh/a für das Laden der E-KFZ. Dieser Bedarf wird auf die Gebäude, entsprechend der Größe, aufgeteilt. Die nachfolgende Tabelle zeigt die ermittelten Bedarfe für den allgemeinen Bedarf sowie für die E-Mobilität.

---

<sup>1</sup> Die Bundesregierung, Nachhaltige Mobilität, „Nicht weniger fortbewegen, sondern anders“:  
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/eenergie-und-mobilitaet/nachhaltige-mobilitaet-2044132>

<sup>2</sup> Studie: E-Autos erreichen 50 Prozent Marktanteil bis 2040: <https://www.automobil-industrie.vogel.de/studie-e-autos-erreichen-50-prozent-marktanteil-bis-2040-a-947796/>

<sup>3</sup> Wirtschaftsdienst – „Die große Zeit des Autos kommt erst“:  
<https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2022/heft/13/beitrag/die-grosse-zeit-des-autos-kommt-erst.html>

<sup>4</sup> Shell, Prognos AG Berlin – „Shell PKW-Szenarien bis 2040“: [https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-01/140900\\_prognos\\_shell\\_studie\\_pkw-szenarien2040.pdf](https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-01/140900_prognos_shell_studie_pkw-szenarien2040.pdf)

<sup>5</sup> Kraftfahrt-Bundesamt, Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken, 01.01.2023;  
[https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/ZulassungsbezirkeGemeinden/zulassungsbezirke\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/ZulassungsbezirkeGemeinden/zulassungsbezirke_node.html)

Tabelle 2-2: Ergebnisse Bedarfsermittlung Strom

Typ, Bezeichnung	NRF pro Typ [m <sup>2</sup> ]	Strombedarf [MWh/a]	Strom E-Mob [MWh/a]	Strom Allg. [MWh/a]
N1 Kleine WE	718	25	7	18
N2 Mittel-Kleine WE	2.696	92	26	67
N3 Mittel-Große WE	2.145	74	20	53
N4 Große WE	660	23	6	16
<b>Summe</b>	<b>6.218</b>	<b>213</b>	<b>59</b>	<b>154</b>

### 3 POTENZIALANALYSE

#### 3.1 Geothermie

Der Begriff der Geothermie bezeichnet die im Erdinneren vorherrschende Wärme. Die Temperaturen im Untergrund steigen mit zunehmender Tiefe, sodass der Anstieg bis zum Erdkern auf 5.500 bis 6.500 °C geschätzt wird. Die Nutzung von Geothermie als erneuerbare Energie kann zur Wärmergewinnung und zur Stromerzeugung dienen, indem durch sehr hohe Temperaturen bzw. erzeugtem Wasserdampf eine Turbine angetrieben wird.

Es wird zwischen der oberflächennahen Geothermie (bis 400 m Tiefe) und der Tiefengeothermie (ab 400 m Tiefe) unterschieden. Die tiefe Geothermie teilt sich in die hydrothermale Geothermie (Nutzung der Wärme von Tiefenwässern) und die petrothermale Geothermie (Nutzung der Wärme heißer Gesteinsschichten) auf. Die oberflächennahe Geothermie beschreibt die Erdwärmenutzung mittels Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, die Nutzung der Wärme des Grundwassers oder sogar von Grubenwässern als Sonderfall.

#### Erdwärmesonden

Im Folgenden liegt der Schwerpunkt auf der oberflächennahen Geothermie für Tiefen von bis zu 200 m. Die Nutzungsbedingungen für oberflächennahe Erdwärmesonden sind von der geographischen Lage von Wasser- und Heilquellenschutzgebieten sowie der Hydrogeologie vor Ort abhängig.

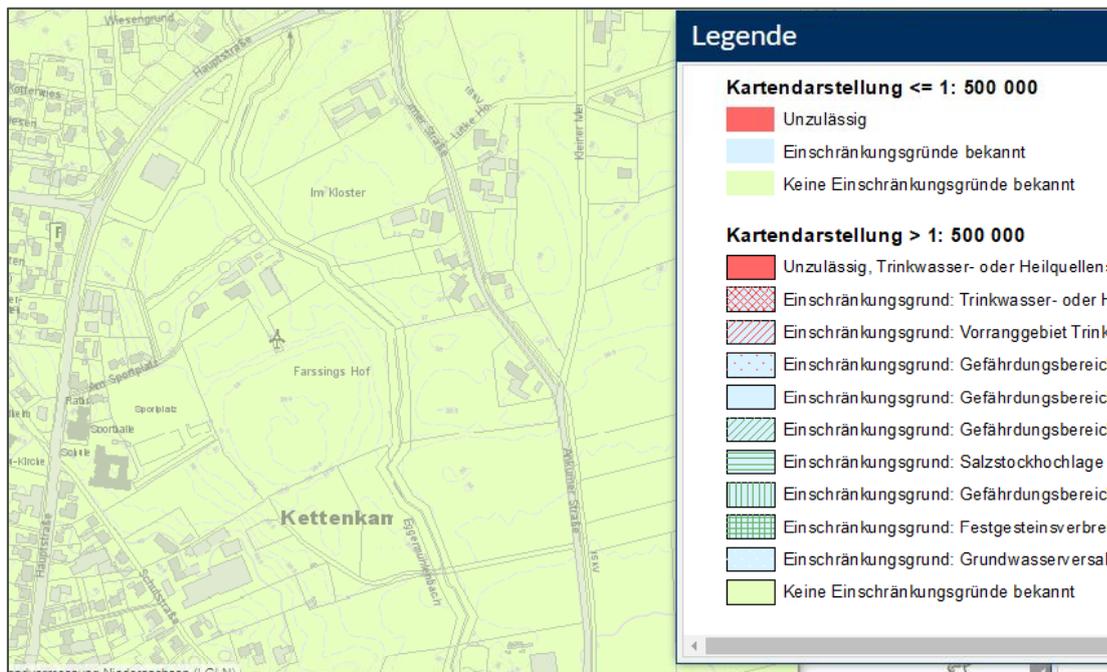


Abbildung 3-1: Einschränkungen Wasserschutz (LBEG)

Die voranstehende Abbildung zeigt einen Kartenausschnitt vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG). Der Einsatz von Erdwärmesonden ist möglich, da der Standort nicht in einem Wasser- oder Heilquellenschutzgebiet liegt.

Ein Merkmal zur Bestimmung der Eignung des Bodens ist dessen durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit, die die Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpe mit Erdwärmesonden beeinflusst. Die durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes für Erdwärmesonden

wird in Watt pro Meter und Kelvin angegeben. Alternativ lässt sich die Eignung durch die mögliche Entzugsleistung in Watt pro Meter definieren.

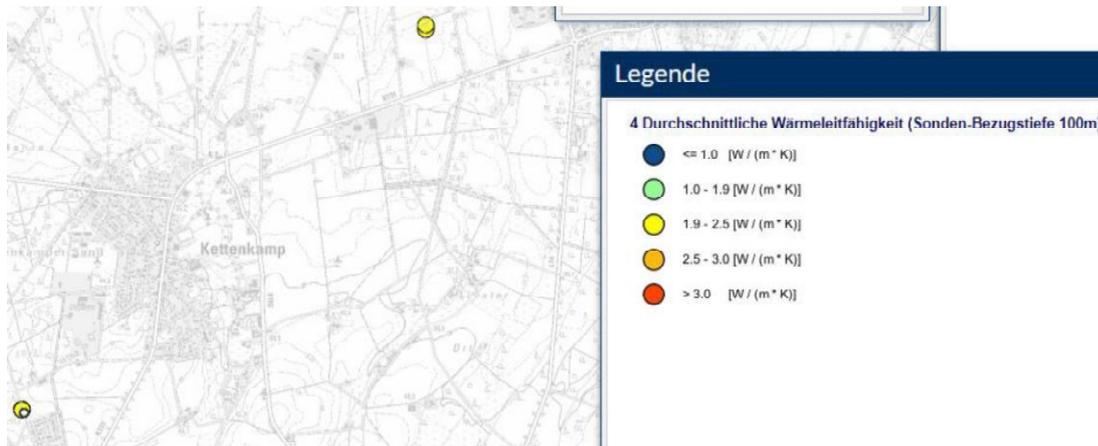


Abbildung 3-2: Wärmeleitfähigkeit in der Umgebung (LBEG)

In der voranstehenden Abbildung ist erkennbar, dass keine Bohrungen in der Nähe vorhanden, sondern nur weit außerhalb vom Ort zu finden sind. Diese weisen eine durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit von 1,9 bis 2,5 W/(m\*K) auf. Jedoch lässt sich hieraus nicht die Wärmeleitfähigkeit in direkter Nähe bestimmen, da diese schon über Strecken von 10 m deutlich variieren kann. Somit wird erst nach der Durchführung eines Thermal-Response-Tests mit einer Probebohrung bekannt, wie die Eignung des Boden tatsächlich ist. Für die weiteren Betrachtungen wird ein durchschnittlicher Wert für die mögliche Entzugsenergie von 80,5 kWh/m im Jahr angenommen. Hieraus ergibt sich, zusammen mit der notwendigen Entzugsenergie, die notwendige Sondenlänge aller Sonden.

### 3.2 Fließendes Gewässer als Wärmequelle

Zur Nutzung von einem fließenden oder stehenden Gewässer wird dieses entsprechend abgekühlt, um Wärme zu entziehen. Hierzu werden entweder Wärmetauscher in das Gewässer eingebracht, die z. B. mit Soleflüssigkeit einer Wärmepumpe durchströmt werden. Oder es wird mit Leitungen kontinuierlich eine Wassermenge in einem Bypass entnommen, in einem Schacht mittels Wärmetauschern abgekühlt und anschließend dem Gewässer wieder zugeführt.

Um den Umwelteinfluss gering zu gestalten wird von den zuständigen Behörden meistens die Variante mit einem Bypass bevorzugt. Hierzu muss ein entsprechendes Bauwerk errichtet werden. Die Kosten hierfür sind teilweise schwer greifbar, da es nur wenige solcher Bauwerke gibt. Zudem sind ausführende Unternehmen, die solche Bauwerke erstellen könnten, meist auf sehr große Bauwerke ausgerichtet (z. B. große Seehäfen). Eine relevante Mindestgröße für solche Projekte ist eine Entzugsleistung von etwa 500 kW am Wärmetauscher. Solche Leistungen werden ab einem Durchfluss von ca. 400 m<sup>3</sup>/h erreicht. Bei 1 K Temperaturspreizung und einem Durchfluss von 500 m<sup>3</sup>/h ergibt sich eine Leistung von etwa 585 kW.

Da die notwendigen Mindest-Dimensionen keinesfalls auf den Eggermühlenbach zutreffen, wird dieser nicht weiter als Wärmequelle untersucht.

### 3.3 Regenrückhaltebecken als Wärmequelle

Am nordöstlichen Rand des zukünftigen Wohngebietes befindet sich ein Regenrückhaltebecken (RRB), das ggf. als Wärmequelle genutzt werden kann. Bei einer Variante mit einem Wärmenetz und einem Erdsondenfeld als Wärmequelle ist die Idee, das Sondenfeld kleiner zu dimensionieren und dafür das RRB einzubinden. Ein Vorteil entsteht nur dann, wenn insgesamt weniger Kosten entstehen oder wenn die Effizienz der Wärmepumpen durch eine höhere Netztemperatur steigt. Der Entzug von Wärmeenergie aus dem RRB führt zu einer Abkühlung des Gewässers. Hierdurch steigt u. A. der Sauerstoffgehalt im Wasser an, was als biologisch positive Wirkung bezeichnet werden kann. Das Wasser regeneriert die entzogene Wärme durch unterschiedliche physikalische Effekte, die jedoch auch zur Abkühlung führen können. Die wesentlichen Einflüsse auf die Temperatur des Gewässers und somit die mögliche Energiemenge, die entzogen werden kann, sind die folgenden:

- Solarstrahlung: Erwärmung durch Absorption, Abkühlung durch Verdunstung
- Regen/Niederschlag: Erwärmung oder Abkühlung je nach Temperaturen
- Zufluss: Energieeintrag oder -austrag je nach Temperaturen
- Abfluss: Energieentzug, da das Volumen des Wassers abnimmt
- Umgebungsluft: Energieeintrag oder -austrag je nach Temperaturen
- Umgebende Erdschichten: Energieeintrag oder -austrag je nach Temperaturen
- Wind über Wasseroberfläche: Wärmeaustrag durch Verdunstung

Um die vorliegenden physikalischen Effekte in Kombination mit der Abkühlung durch Wärmepumpen zu berechnen, wird das RRB mit der Software Polysun simuliert. Die Ergebnisse werden kritisch hinterleuchtet und validiert. Die wichtigsten Kennzahlen zur Bewertung des Potentials sind das Wasservolumen und die Globalstrahlung. Das RRB weist ein Wasservolumen von etwa 500 m<sup>3</sup> auf. Bei einer Entzugsleistung von 15 kW über 5.000 Betriebsstunden im Jahr kann eine Energiemenge von etwa 75 MWh/a entzogen werden. Auf der Oberfläche wird eine Globalstrahlung von etwa 120 MWh/a erwartet. Im Vergleich dazu benötigt das Wohngebiet etwa 216 MWh/a Wärmeenergie. Bei einer Jahresarbeitszahl von 4,5 wäre eine Energiemenge von etwa 165 MWh/a an Entzugsenergie ausreichend, um den Wärmebedarf zu decken.

Zudem werden Absprachen mit den zuständigen Behörden für Gewässer und Naturschutz getroffen. Hieraus ergibt sich, dass grundsätzlich keine besonderen Bedenken geäußert werden können. Es sollen die Anforderungen der AwSV, insbesondere nach §35, eingehalten werden. Das ist, kurzgefasst, in jedem Fall unbedenklich und einfach umsetzbar. Hier geht es darum, das Gewässer vor z. B. austretenden Kältemitteln zu schützen. Da das Volumen des RRB zukünftig durch z. B. eine Dammaufschüttung erweitert werden soll, ist bei weiterer Planung das Ingenieurbüro Westerhaus (Bramsche) zu involvieren.

### 3.4 Photovoltaik

Um möglichst günstig und umweltfreundlich Strom zu erzeugen, können PV-Anlagen auf den Dachflächen installiert werden. Die Nutzung von PV-Strom ist für alle Varianten mit angedacht. Der Einsatz von PV kann u. A. die Kosten zur Erzeugung von Wärme durch Wärmepumpen senken, wenn der Netzstrom entsprechend hoch ist. Das primäre Ziel der PV-Anlagen ist es, einen möglichst niedrigen kostendeckenden Wärmepreis (Wärmegestehungskosten) zu erhalten.

Zunächst wird das maximale Potential ermittelt, wobei alle verfügbaren Flächen mit PV-Modulen belegt werden. Um dem Grünkonzept gerecht zu werden, wird die Dachfläche der

Schrägdächer nur zur Hälfte mit PV belegt. So bleibt die andere Hälfte zur Dachbegrünung übrig. Auf den Flachdächern sollen PV-Module mit einer Neigung von 10° aufgeständert werden. Es wird die Annahme getroffen, dass keine Verschattungen durch z. B. hohe Bäume oder ähnliches gegeben sind.

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine mögliche Vollbelegung aller Dachflächen.



Abbildung 3-3: Mögliche PV-Belegung der Dachflächen

Die Dachflächen werden in drei Typen unterteilt, wonach die Ergebnisse dargestellt werden. Typ a beinhaltet die nach Osten ausgerichteten Dachflächen. Der Jahresertrag und die installierte Leistung entsprechen theoretisch dem auf der gegenüberliegenden Westseite. Es ist somit in der Umsetzung denkbar, die Module jeweils auf der Hälfte der Ost- und der Westseite anzubringen. Typ b entspricht den nach Süden ausgerichteten Dachflächen. Die Belegung der gegenüberliegenden Nordseiten wird nicht betrachtet, da die spezifischen Erträge gering ausfallen und schwer wirtschaftlich darstellbar sind. Typ c beinhaltet die Flachdächer mit Ost-West-Ausrichtung.

Nach der zuvor beschriebenen und dargestellten Belegung ergeben sich die nachfolgenden Erträge und Leistungen. Bei einer Belegung der freien Dachflächen des Typs a ergibt sich eine Leistung von etwa 624 kWp und ein Ertrag von 640 MWh/a. Für alle weiteren Betrachtungen wird von einer maximalen Leistung von 393 kWp und einem Ertrag von 367 MWh/a ausgegangen.

Tabelle 3-1: PV-Potential

Typ	Leistung [kWp]	Ertrag [MWh/a]	Spez. Ertrag [kWh/(kWp*a)]
a	230	208	903
b	90	94	1.044
c	73	65	893
Summe	393	367	933

### 3.4.1 Technische Optimierung der PV-Nutzung

Um einen höheren Anteil der erzeugten PV-Energie zu nutzen, können einige Maßnahmen getroffen werden. Hierdurch muss weniger Strom aus dem öffentlichen Netz eingekauft werden, was eine Kosteneinsparung darstellt. Da besonders in den Sommermonaten ein großer PV-Überschuss besteht, stehen hier große Energiemengen zur Verfügung.

#### **Elektrischer Speicher**

Durch den Einsatz eines elektrischen Speichers können Energiemengen dann gespeichert werden, wenn die erzeugte PV-Energie größer ist als der zeitgleiche Bedarf. Die gespeicherte Energie kann zu einem späteren Zeitpunkt genutzt werden, wenn die PV-Erzeugung geringer ist als der Bedarf. Hierbei entstehen geringe Verluste beim Laden und Entladen des Speichers. In den nachfolgend beschriebenen Varianten mit PV-Anlage wird ein wirtschaftlicher Einsatz von elektrischen Speichern untersucht. Um ein genaueres Ergebnis zu erhalten, muss eine detaillierte Analyse der PV-Anlage und der PV-Erzeugung durchgeführt und im zeitlichen Verlauf analysiert werden. In diesem Zuge sollte auch eine Anpassung der Betriebsweise auf den Bedarf und die PV-Erzeugung erfolgen.

#### **Steuerung der Wärmepumpen**

Es gibt viele Möglichkeiten, die Wärmepumpen und deren Wärmeoutput zu steuern. So können z. B. Sperrzeiten in den Abend- und Morgenstunden festgelegt werden, in denen die Wärmepumpen gar nicht oder nur geringfügig betrieben werden sollen. Hierdurch fällt ein größerer Teil der Betriebsstunden auf die Mittags- und Nachmittagsstunden, in denen eher mit sonnigem Wetter und einem entsprechenden PV-Ertrag zu rechnen ist. Andersherum können die Wärmepumpen immer betrieben werden, wenn auch ein PV-Ertrag besteht.

#### **Einbindung E-Mobilität**

Um den PV-Ertrag zu nutzen, der nicht für die Wärmepumpen oder sonstige Verbraucher benötigt wird, können Elektroautos geladen werden. Hierdurch kann die Eigennutzungsquote des PV-Ertrags deutlich erhöht werden. Wenn die E-Autos über viele Stunden am Tag zum Laden bereitstehen, kann z.B. geregelt nur dann geladen werden, wenn PV-Überschussstrom vorhanden ist. Wer diese Lademöglichkeiten nutzen kann und ob diese kostenpflichtig sind, entscheidet über die Höhe einer Stromeinsparung und ggf. wirtschaftliche Gewinne durch den Verkauf von Ladeleistungen.

#### **Energetische Überfüllung der Pufferspeicher**

Es ist möglich, den PV-Überschussstrom für die Erzeugung von thermischer Energie durch den Betrieb der Wärmepumpen zu nutzen. Hierbei werden die Wärmepumpen so gesteuert, dass diese eine höhere Temperatur erzeugen als theoretisch angedacht. Dabei sinkt zwar die Effizienz der Wärmepumpen etwas, jedoch wird die „kostenlose“ PV-Energie genutzt. Es wird die ohnehin für die Bedarfsdeckung benötigte Energiemenge erzeugt und darüber hinaus wird der Pufferspeicher mehr (energetisch) geladen als ohne die Nutzung des PV-Überschussstroms. Dieser Prozess muss vor der Umsetzung genauer betrachtet werden. Es gilt eine logische und wirtschaftliche Steuerung der Wärmepumpen zu definieren.

#### **Einsatz eines elektrischen Heizstabs**

Ähnlich wie beim energetischen Überfüllen der Pufferspeicher kann ein elektrischer Heizstab in einem oder mehreren Pufferspeichern installiert werden. Im Vergleich zu den gesamten

Anschaffungskosten ist ein solcher Heizstab günstig. Durch einfaches Anschalten eines oder mehrerer Heizstäbe kann PV-Überschussstrom nahezu verlustfrei in thermische Energie gewandelt werden. Dieses Vorgehen ist dem Betrieb der Wärmepumpen zur Nutzung von PV-Überschussstrom gegenüberzustellen und in wirtschaftlicher Hinsicht genauer zu analysieren.

### 3.4.2 Wirtschaftliche Optimierung der PV-Anlagen

Eine der wichtigsten Kennzahlen bei der Betrachtung von PV-Anlagen ist die Amortisationszeit. Diese bestimmt häufig die Auslegungsgröße der gesamten Anlage. Errechnet wird diese Zeit indem die einmaligen Investitionskosten durch die Summe der jährlichen Einsparungen geteilt werden.

Die Investitionskosten sind hauptsächlich durch die Anschaffungskosten der PV-Module und der Wechselrichter inkl. Lieferung, Montage und Inbetriebnahme bedingt. Zudem kommen ggf. noch Kosten für einen elektrischen Speicher hinzu. Die jährlichen Kosteneinsparungen ergeben sich aus den vermiedenen Kosten durch die Vermeidung von aus dem Netz bezogenen Strom. Diese Strommenge hängt stark vom Verlauf des Strombedarfes in Bezug auf den Erzeugungslastgang ab. Die Vergütung des eingespeisten Stroms zählt auch zu den Kosteneinsparungen. Die Vermeidung von Netzbezug ergibt pro kWh eine höhere Einsparung als der Verkauf von Strom, da die Vergütung deutlich geringer ist als der Strompreis.

Die beschriebenen Variablen und Kennzahlen sind hier grob betrachtet und entsprechen den hauptsächlichsten Einflussfaktoren bezüglich der Wirtschaftlichkeit. Die Größe der PV-Anlage in jeder Versorgungsvariante wird so bestimmt, dass der geringste kostendeckende Wärmepreis entsteht. Das ist dadurch bedingt, dass die PV-Anlage genau diesem Zweck dient, den Strompreis zu senken, um die Wärmegestehungskosten zu reduzieren.

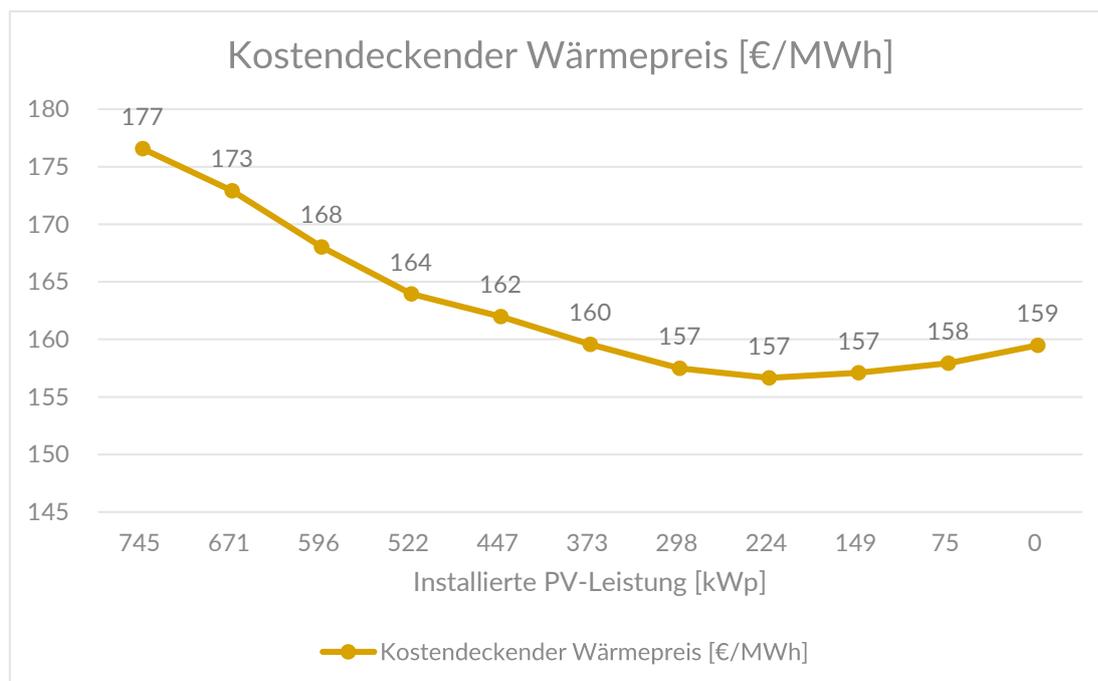


Abbildung 3-4: Beispiel: Kostendeckender Wärmepreis zur PV-Leistung

Die voranstehende Abbildung zeigt den jeweils entstehenden Wärmepreis bei unterschiedlichen PV-Größen. Diese Zahlen sind rein beispielhaft. Es ist erkennbar, dass die geringsten Wärmepreise bei einer PV-Leistung von etwa 300 bis 150 kWp erreicht werden können.

## 4 VARIANTEN DER WÄRMEVERSORGUNG

Nachfolgend werden die Versorgungsvarianten näher beschrieben. In allen Varianten besteht die Anforderung, die Wärme für die Gebäudebeheizung und die Trinkwarmwasserbereitung bereitzustellen. Zudem ist immer ein System mit Pufferspeichern vorgesehen, um Bedarfsspitzen abzudecken. Grundlegend werden bei der Auslegung der Varianten die drei folgenden Ziele verfolgt:

- Minimaler kostendeckender Wärme- & Energiepreis
- Geringe Amortisationszeit der Anlagen
- Maximale Autarkie, soweit wirtschaftlich sinnvoll

Zudem wird eine möglichst geringe Umweltbelastung angestrebt. Diese wird anhand von CO<sub>2</sub>-Emissionen (Äquivalente) bemessen, die aus den Energieeinsätzen entstehen. Genauer ist in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

Wie in den nachfolgenden schematischen Darstellungen angedeutet, wird eine PV-Anlage vorgesehen, um einen Teil des Strombedarfs damit zu decken. Da beim Einsatz von Wärmepumpen ein erhöhter Strombedarf entsteht, ist dies besonders sinnvoll, um den internen Strompreis möglichst niedrig zu halten. Durch einen niedrigeren Strompreis steigt die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe.

Aufgrund von typischen Lastgangverläufen werden Lastgänge für ein Jahr für den Wärmebedarf, Strombedarf und den Ladebedarf der E-Mobilität erstellt. Aus dem Wärmebedarf ergibt sich in etwa der Strombedarf für die Wärmepumpen. Durch aufsummieren der Lastgänge für Allgemeinstrom, E-Mobilität und Wärmepumpen-Strom ergibt sich der gesamte Strombedarf. Aus der Simulation der PV-Anlagen ergibt sich der Lastgang der PV-Erzeugung. Somit kann bestimmt werden, wie hoch der Eigennutzungsanteil der erzeugten PV-Energie ausfällt. Die Größe der PV-Anlage wird so ausgelegt, dass der größte wirtschaftliche Vorteil entsteht.

#### 4.1 V1: Kaltes Netz, Erdsondenfeld mit dezentralen Wärmepumpen

In Variante 1 wird die Wärmeversorgung durch ein kaltes Nahwärmenetz mit einer zentralen Wärmeeinspeisung ausgelegt. Die im kalten Netz bereitgestellte Soletemperatur wird durch Wärmepumpen in jeden Gebäude bzw. bei jedem Wärmeabnehmer auf das benötigte Temperaturniveau gehoben. Hinzu kommt eine PV-Anlage die nach den zuvor festgelegten Kriterien dimensioniert wird.

Im Folgenden ist ein möglicher Aufbau für Variante 1 schematisch dargestellt, dabei sind die wesentlichen Komponenten das Erdsondenfeld, die Verteilung inkl. MSR und die Hausübergabe inkl. Abgabe der Umweltwärme an die Wärmepumpe.

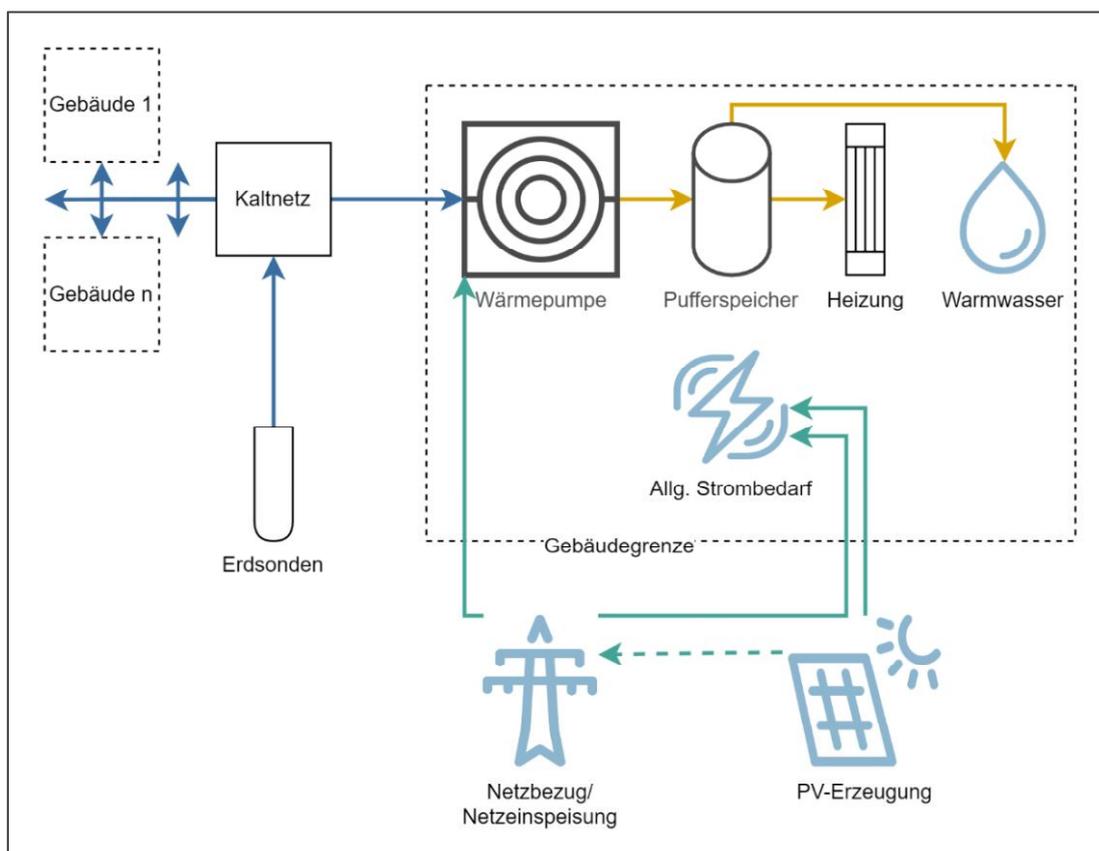


Abbildung 4-1: Schema Kaltes Netz, Erdsondenfeld, dezentrale Wärmepumpen & PV

Um die Wärmebedarfsdeckung durch diese Umweltwärme zu ermöglichen, werden Erdsondenfelder benötigt. Diese Erdsondenfelder werden mit einer Sole-Flüssigkeit durchströmt, die anschließend über das kalte Nahwärmenetz an die Hausanschlüsse verteilt wird. An jedem Gebäude sind Sole-Wasser-Wärmepumpen installiert, die diese Umweltwärme nutzen, um das Warmwasser und Heizungswasser auf das benötigte Temperaturniveau zu erwärmen. Durch dieses Verfahren sind hohe Jahresarbeitszahlen (JAZ) von teilweise über 5 möglich. Wichtig dafür sind insbesondere passende Auslegungen. Die hohe JAZ ergibt sich aus dem Temperaturniveau der Umweltwärme. Im Vergleich dazu kann z. B. Luft als Wärmequelle im Wärmebedarfsfall (überwiegend Winter) eine Temperatur von unter  $0^{\circ}\text{C}$  aufweisen. Die Sole aus den Erdwärmesonden weist ein über das Jahr relativ konstantes Temperaturniveau von ca.  $10^{\circ}\text{C}$  auf, sodass ein geringerer Temperaturhub durch die Wärmepumpe geleistet werden

muss. Ein geringerer Temperaturhub führt zu einer höheren Effizienz (vgl. Carnot-Prozess), sodass eine höhere JAZ resultiert.

Für diese Untersuchung wird für die JAZ ein Wert von 4,58 angenommen. Die JAZ gibt das Verhältnis von eingesetztem Strom zu nutzbarer Wärme an, d.h. in diesem Fall wird aus dem Einsatz einer kWh Strom 4,58 kWh nutzbare Wärme. Das Energiedelta ergibt sich durch die Nutzung der Umweltwärme. Zwar ist für die Bereitstellung von Trinkwarmwasser eine höhere Temperatur notwendig, die mit einer geringen Effizienz einhergeht, jedoch ist der Anteil der benötigten Heizenergie deutlich höher und bestimmt überwiegend die JAZ. So ist für die reine Beheizung mit einer geringen Vorlauftemperatur von etwa 40 °C und einer Quelltemperatur von etwa 10 °C eine JAZ von etwa 5 zu erwarten. Für die Trinkwarmwasserbereitung mit gleicher Quelltemperatur und einer erzeugten Temperatur von etwa 55 °C ist eine JAZ von etwa 3,5 zu erwarten. Entsprechend der Anteile der Heizenergie und der Trinkwarmwasserbereitung am gesamten Wärmebedarf ergibt sich eine durchschnittliche JAZ von etwa 4,58.

#### **Eckdaten der Auslegung: Wärme**

Es werden Wärmepumpen mit einer Wärmeleistung von insgesamt etwa 214 kW und Pufferspeicher mit einem Gesamtvolumen von ca. 11 m<sup>3</sup> vorgesehen. Entsprechend dem ermittelten Wärmebedarf und der festgelegten JAZ der Wärmepumpen ergibt sich eine notwendige Entzugsenergie an den Sonden von etwa 169 MWh/a. Bei einer Entzugsenergie von etwa 80,5 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) ergibt sich eine benötigte Gesamtlänge der Erdsonden von ca. 2.095 m. Es ergibt sich ein Strombedarf von etwa 47 MWh/a für den Betrieb der Wärmepumpen.

#### **Eckdaten der Auslegung: PV-Anlage**

In Absprache mit dem Auftraggeber wird festgelegt, dass der PV-Strom nur zur Deckung des allgemeinen Strombedarfes genutzt wird. Die Stromversorgung der Wärmepumpen geschieht durch den Wärmenetzbetreiber, welche Strom aus dem öffentlichen Netz bezieht.

Die optimale Größe der PV-Anlage entspricht etwa 25% des verfügbaren Potentials. Somit werden etwa 98 kWp vorgesehen, wodurch sich ein Ertrag von etwa 92 MWh/a ergibt. Der Eigennutzungsanteil würde hierbei bei ca. 69% liegen. Durch einen elektrischen Speicher mit einer Speicherkapazität von 5 kWh und einer max. Lade- & Entladeleistung von 2,5 kW lässt sich der Eigennutzungsanteil auf 71% anheben. Hierdurch kann 31% des Strombedarfes gedeckt werden. Die Verwendung eines solchen Speichers stellt hierbei einen größeren wirtschaftlichen Vorteil dar als eine größere PV-Anlage. In der Umsetzung müsste in jedem Gebäude ein Speicher installiert werden, der anteilig der Größe der jeweiligen PV-Anlage des jeweiligen Gebäudes ausgelegt ist.

## 4.2 V2: Kaltes Netz, Erdsondenfeld mit dezentralen Wärmepumpen & RRB

Die Variante 2 gleicht überwiegend der Variante 1. Der einzige Unterschied ist die Einbindung des Regenrückhaltebeckens.

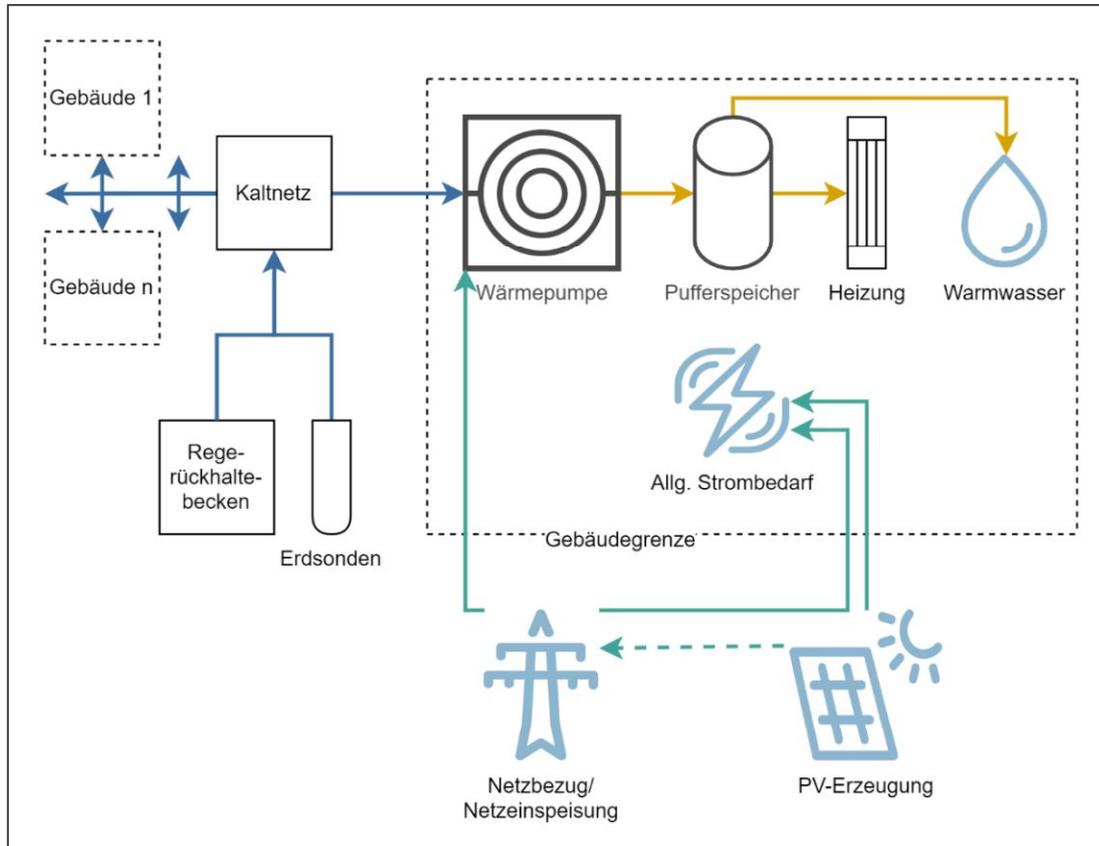


Abbildung 4-2: Schema kaltes Netz mit RRB

### Eckdaten der Auslegung: Wärme

Bei einer Entzugsleistung von ca. 64 kW am Wärmetauscher, der das RRB abkühlt, kann theoretisch das ganze Gebiet versorgt werden. In über 95% der Zeit reicht sogar eine Entzugsleistung von ca. 28 kW aus. Somit wären keine Erdsonden notwendig. Da jedoch die physikalischen Effekte nicht mit hoher Sicherheit simuliert werden können, wird ein Sicherheitspuffer integriert. Um eine hohe Versorgungssicherheit und eine Pufferwirkung zu erzielen, werden ca. 20% der angedachten Erdsonden aus V1 vorgesehen. Somit können z. B. 3 Sonden mit einer Tiefe von jeweils 140 m ausreichend sein. Die Entzugsleistung des Wärmetauschers am RRB wird mit 30 kW als ausreichend groß definiert.

### Eckdaten der Auslegung: PV-Anlage

In Absprache mit dem Auftraggeber wird festgelegt, dass der PV-Strom nur zur Deckung des allgemeinen Strombedarfes genutzt wird. Die Stromversorgung der Wärmepumpen geschieht durch den Wärmenetzbetreiber, welche Strom aus dem öffentlichen Netz bezieht.

Die PV-Anlage wird genauso ausgelegt wie in Variante 1. Das ist hauptsächlich dadurch bedingt, dass die Wärmepumpen in etwa den gleichen Strombedarf aufweisen.

### 4.3 V3: Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen

In Variante 3 wird die Wärmeversorgung durch dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen betrachtet. Hinzu kommt eine PV-Anlage pro Gebäude die nach den zuvor festgelegten Kriterien dimensioniert wird. Die Wärmequelle ist hierbei die Außenluft und es besteht keine direkte Verbindung zwischen den Gebäuden, entsprechend einer dezentralen Versorgung.

Relevant für den Stromverbrauch der Wärmebereitstellung ist die Jahresarbeitszahl, die zugleich die Effizienz darstellt. Für diese Untersuchung wird für die Jahresarbeitszahl ein Wert von 2,86 angenommen. Diese Variante stellt im Bereich der dezentralen Wärmeversorgung den aktuellen modernen Standard dar.

Im Folgenden ist ein möglicher Aufbau für Variante 3 schematisch dargestellt, dabei umfassen die wesentlichen Komponenten die Wärmepumpe und die PV-Anlage.

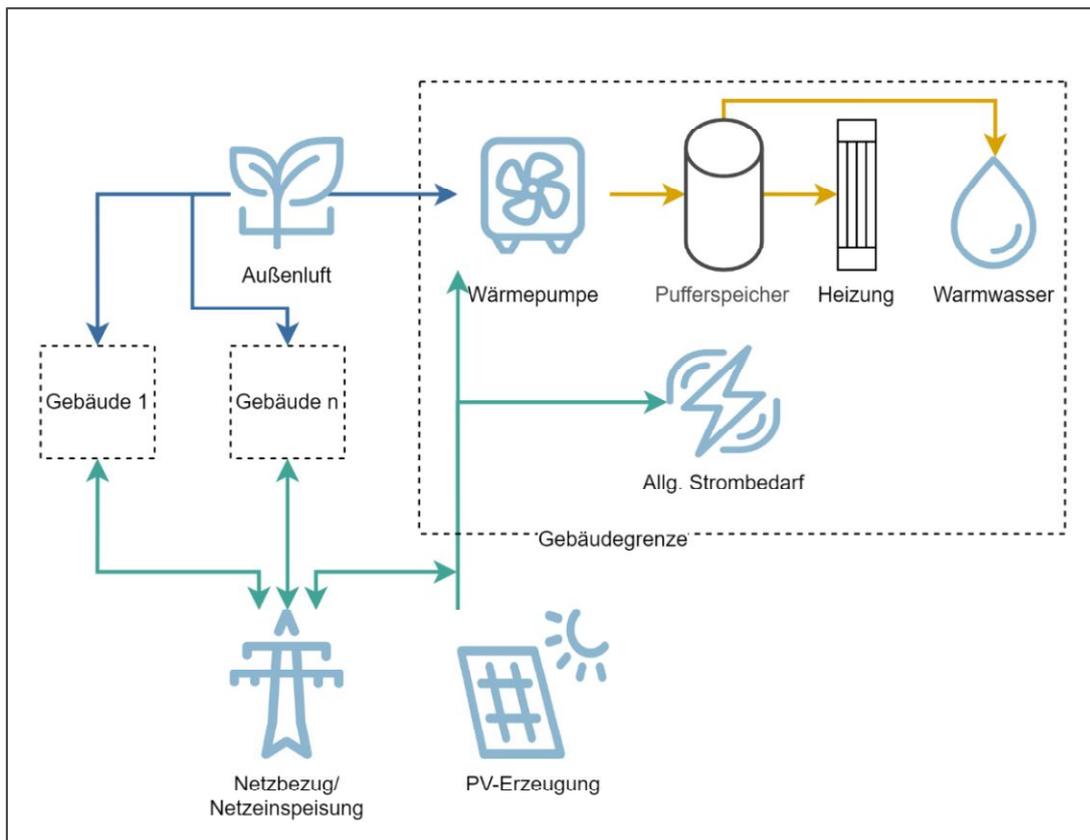


Abbildung 4-3: Schema dezentrale Versorgung, Luft-Wasser-Wärmepumpen & PV

Um die Wärmebedarfsdeckung durch die Umweltwärme (Außenluft) zu ermöglichen, werden entweder Außengeräte (Split-Geräte) benötigt oder es wird alternativ ein Gerät (Monoblock) außen aufgestellt. An jedem Gebäude wird (mindestens) eine Luft-Wasser-Wärmepumpe installiert, welche die Umweltwärme nutzt, um das Warmwasser und Heizungswasser auf das benötigte Temperaturniveau zu erwärmen.

Für diese Untersuchung wird für die JAZ ein Wert von 2,86 angenommen. Die JAZ gibt das Verhältnis von eingesetztem Strom zu nutzbarer Wärme an, d.h. in diesem Fall wird aus einer kWh Strom 2,86 kWh nutzbare Wärme. Das Energiedelta ergibt sich durch die Nutzung der

Umweltwärme. Zwar ist für die Bereitstellung von Trinkwarmwasser eine höhere Temperatur notwendig, die mit einer geringen Effizienz einhergeht, jedoch ist der Anteil der benötigten Heizenergie deutlich höher und bestimmt überwiegend die JAZ. So ist für die reine Beheizung mit einer geringen Vorlauftemperatur von etwa 40 °C eine JAZ von etwa 3,5 zu erwarten. Für die Trinkwarmwasserbereitung mit einer erzeugten Temperatur von etwa 55 °C ist eine JAZ von etwa 2,1 zu erwarten. Entsprechend der Anteile der Heizenergie und der Trinkwarmwasserbereitung am gesamten Wärmebedarf ergibt sich eine durchschnittliche JAZ von etwa 2,86.

#### **Eckdaten der Auslegung: Wärme**

Es werden Wärmepumpen mit einer Wärmeleistung von insgesamt etwa 214 kW und Pufferspeicher mit einem Gesamtvolumen von ca. 11 m<sup>3</sup> vorgesehen.

#### **Eckdaten der Auslegung: PV-Anlage**

In Absprache mit dem Auftraggeber wird festgelegt, dass der PV-Strom zur Deckung des gesamten Strombedarfes (allgemein und Wärmepumpen) genutzt wird.

Die optimale Größe der PV-Anlage entspricht 100% des verfügbaren Potentials. Somit werden etwa 393 kWp vorgesehen, wodurch sich ein Ertrag von etwa 370 MWh/a ergibt. Der Eigennutzungsanteil würde hierbei bei etwa 32% liegen. Durch einen elektrischen Speicher mit einer Speicherkapazität von 30 kWh und einer max. Lade- & Entladeleistung von 15 kW lässt sich der Eigennutzungsanteil auf 35% anheben. Hierdurch kann etwa 44% des Strombedarfes gedeckt werden. Die Verwendung eines solchen Speichers stellt hierbei einen größeren wirtschaftlichen Vorteil dar als eine größere PV-Anlage. In der Umsetzung müsste in jedem Gebäude ein Speicher installiert werden, der anteilig der Größe der jeweiligen PV-Anlage des jeweiligen Gebäudes ausgelegt ist.

#### 4.4 V4: Dezentrale Pelletkessel

In der Variante 4 wird die Wärme durch Pelletkessel bereitgestellt. Das System besteht aus den drei Hauptbestandteilen Pelletkessel, Pelletbunker und Pufferspeicher. Um ausreichend viele Pellets zu lagern, muss der Lagerraum entsprechend dimensioniert werden.

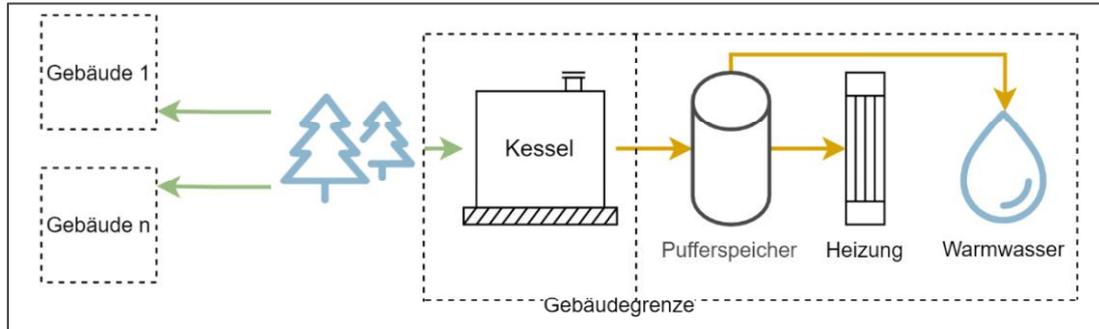


Abbildung 4-4: Schema Pelletkessel

Wie in Variante 3 wird hier jedes Gebäude separat versorgt und es besteht kein Zusammenschluss im Wärmenetz. Hierbei wird kaum elektrische Energie zur Wärmebereitstellung benötigt, weshalb die Auslegung der PV-Anlage entfällt.

##### Eckdaten der Auslegung: Wärme

Es werden Kessel mit einer Leistung von insgesamt 257 kW vorgesehen. Der Kessel ist zusammen mit dem Pelletbunker und einem Pufferspeicher im Technikraum untergebracht. Dort wird das Gebäude mit einer Vorlauftemperatur von etwa 65 °C und einer Rücklauftemperatur von etwa 37 °C versorgt. Analog zu den anderen Varianten wird im Technikraum ein Pufferspeicher vorgesehen. Das Volumen aller Gebäude beläuft sich hierbei auf etwa 13 m<sup>3</sup> und teilt sich entsprechend der installierten Leistung des jeweiligen Gebäudes auf die Gebäude auf.

##### Eckdaten der Auslegung: PV-Anlage

In Absprache mit dem Auftraggeber wird festgelegt, dass der PV-Strom zur Deckung des gesamten Strombedarfes (allgemein und Wärmepumpen) genutzt wird.

Die optimale Größe der PV-Anlage entspricht etwa 20% des verfügbaren Potentials. Somit werden etwa 79 kWp vorgesehen, wodurch sich ein Ertrag von etwa 74 MWh/a ergibt. Der Eigennutzungsanteil würde hierbei bei etwa 77% liegen. Durch einen elektrischen Speicher mit einer Speicherkapazität von 5 kWh und einer max. Lade- & Entladeleistung von 2,5 kW lässt sich der Eigennutzungsanteil auf 80% anheben. Hierdurch kann etwa 28% des Strombedarfes gedeckt werden. Die Verwendung eines solchen Speichers stellt hierbei einen größeren wirtschaftlichen Vorteil dar als eine größere PV-Anlage. In der Umsetzung müsste in jedem Gebäude ein Speicher installiert werden, der anteilig der Größe der jeweiligen PV-Anlage des jeweiligen Gebäudes ausgelegt ist.

#### 4.5 V5: Fern- & Nahwärmenetz mit Biomasse

Die lokal angesiedelte Firma Dettmer plant die Errichtung einer Fernwärmeleitung, die u. A. das Wohngebiet mit Wärme versorgen könnte. Die Wärme wird aus regionaler Biomasse erzeugt, welche die Firma selbst erzeugt. Überwiegend besteht die eingesetzte Biomasse aus Holzhackschnitzeln. Das Fernwärmenetz soll an einem zentralen Groß-Pufferspeicher enden. Ab dem Pufferspeicher soll ein separates Unternehmen ein Nahwärmenetz errichten und betreiben. Das nachfolgende Schema zeigt die wesentlichen Komponenten der Wärme- und Stromversorgung dieser Variante.

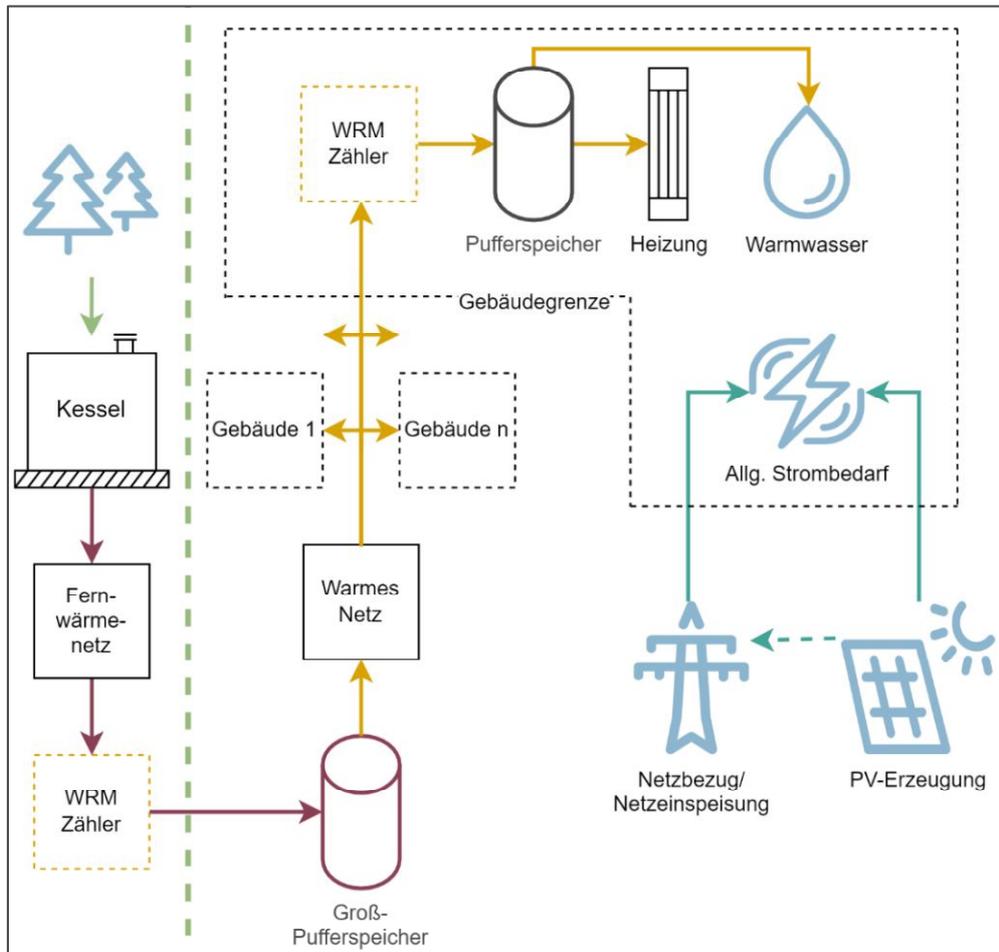


Abbildung 4-5: Schema Fern- & Nahwärmenetz

##### Eckdaten der Auslegung: Wärme

Vor oder im Groß-Pufferspeicher ist ein Wärmetauscher mit Wärmemengenzähler zu installieren. Hier wird die Wärmemenge gezählt, die das Fernwärmenetz an den Pufferspeicher abgibt. Angestrebt ist eine Vorlauftemperatur im Fernwärmenetz von ca. 60 °C. Die Be- und Entladung des Pufferspeichers soll durch eine optimierte Regelung des Nahwärmenetzbetreibers geregelt werden. So kann z. B. die Netztemperatur im Nahwärmenetz gesenkt werden, um die Leitungsverluste zu verringern.

In jedem Gebäude, bzw. an jedem Wärmeabnehmer, ist eine Übergabestation zu errichten. Diese besteht hauptsächlich aus einem Wärmemengenzähler und einem Wärmetauscher. Hier wird die Wärme aus dem Nahwärmenetz an den Pufferspeicher des Gebäudes übergeben. In Summe sollten die Leistungen aller Übergabestationen etwa der Leistung von 257 kW

entsprechen. Zudem sollte die Summe der Pufferspeicher in den Gebäuden etwa 13 m<sup>3</sup> betragen.

#### Eckdaten der Auslegung: PV-Anlage

In Absprache mit dem Auftraggeber wird festgelegt, dass der PV-Strom zur Deckung des gesamten Strombedarfes genutzt wird.

Die optimale Größe der PV-Anlage entspricht etwa 30% des verfügbaren Potentials. Somit werden etwa 118 kWp vorgesehen, wodurch sich ein Ertrag von etwa 111 MWh/a ergibt. Der Eigennutzungsanteil würde hierbei bei etwa 61% liegen. Durch einen elektrischen Speicher mit einer Speicherkapazität von 15 kWh und einer max. Lade- & Entladeleistung von 7,5 kW lässt sich der Eigennutzungsanteil auf 65% anheben. Hierdurch kann etwa 34% des Strombedarfes gedeckt werden. Die Verwendung eines solchen Speichers stellt hierbei einen größeren wirtschaftlichen Vorteil dar als eine größere PV-Anlage. In der Umsetzung müsste in jedem Gebäude ein Speicher installiert werden, der anteilig der Größe der jeweiligen PV-Anlage des jeweiligen Gebäudes ausgelegt ist.

## 4.6 Zusammenfassung der Auslegung

Nachfolgend sind die wichtigsten Auslegungsdaten der Versorgungsvarianten dargestellt. Durch den Einsatz von Wärmeerzeugern entsteht ein Strom- und ggf. Brennstoffbedarf.

Tabelle 4-1: Eckdaten Energieerzeugung der Varianten

	V1	V2	V3	V4	V5	Einheit
Wärmeerzeugerleistung	214	214	214	257	257	kW
Erzeugte Jahreswärmemenge	216	216	216	216	226	MWh/a
Leistungsziffer Wärmepumpe (JAZ)	4,58	4,66	2,86	-	-	-
Durchschnittliche elektrische Leistung WP	47	46	75	-	-	kW
Eigenstrombedarf	47	46	75	-	-	MWh/a
Strombedarf Haushaltsstrom, E-Mobilität	213	213	213	213	213	MWh/a
Summe Strombedarf	260	260	289	213	213	MWh/a
Stromerzeugerleistung gesamt	98	98	393	79	118	kWp
Erzeugte Strommenge	92	92	370	74	111	MWh/a
Genutzte Eigenerzeugung	65	65	128	59	73	MWh/a

## 5 FÖRDERMÖGLICHKEITEN

Die einzelnen Energieversorgungsvarianten können durch unterschiedliche Förderprogramme subventioniert werden.

### Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)

Über das Programm „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze“ (BEW) der BAFA werden innovative Wärmenetzsysteme mit überwiegendem Anteil erneuerbarer Energien gefördert. Die Nutzung dieser Förderung ist für die Varianten 1 und 2 möglich, da diese Varianten alle Förderbedingungen erfüllen. Die Förderhöhe beträgt ca. 40% der förderfähigen Kosten (Wärmeverteilnetz, Erdwärmekollektoren, Eisspeicher, Abwasserwärmetauscher, Holzhackschnitzelkessel + anteilige Planungskosten). Diese Förderung ist mit der BEG-WG-Förderung kumulierbar.

Die Merkblätter werden unter folgendem Link veröffentlicht:

[https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente\\_Waermenetze/effiziente\\_waermenetze\\_node.html](https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html)

### Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)

Die Wärmeerzeugungsanlagen bzw. Übergabestationen in den Varianten 3, 4, und 5 können durch das Förderprogramm der BAFA „Bundesförderung für effiziente Gebäude“ (BEG) gefördert werden. Die relevanten Bedingungen und Fördersätze sind nachfolgend aufgeführt.

Tabelle 5-1: Fördersätze der Varianten

Varianten	Bedingungen	Fördersatz gesamt	Typische Kostengruppen
1, 2	S. BEW Modul 1 – Machbarkeitsstudie (LPH 1-4)	50%	LPH 1 – 4 der KG 730
1, 2	S. BEW Modul 2 – Ausführung/Investitionskosten	40%	KG 400 abzgl. 442 (PV) etc.
3	Wärmepumpe mit Wärmequelle Sole/Wasser oder natürliches Kältemittel	30%	KG 400 abzgl. 442 (PV) etc.
4	Biomasseheizung	10%	KG 400 abzgl. 442 (PV) etc.
5	Anschluss an ein Wärmenetz	30%	KG 400 abzgl. 442 (PV) etc.

Durch den Einbau von effizienten Wärmeerzeugern, die erneuerbare Energien als Wärmequelle nutzen, ergeben sich Fördermöglichkeiten in Form von Zuschüssen. Je nach Anlagentyp ergeben sich unterschiedliche Förderungen. In allen Varianten liegt ein Mindestinvestitionsvolumen von 2.000 € zugrunde, welches eine Bedingung darstellt.

## 6 ERGEBNISSE

### 6.1 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit erfolgt über eine Netto-Vollkostenrechnung für 20 Jahre Betrieb. Dabei werden für die Kostenpositionen Strom und Pellets, teilweise in Anlehnung an eine Prognose<sup>6</sup>, für die nächsten 20 Jahren modelliert und mit folgenden Durchschnittswerten angesetzt.

Table 6-1: Kostenentwicklung Strom

	Strompreis [ct/kWh]	Gewichtung
Kosten 2022/2023, BRD	31	50 %
Kosten 2043, BRD	23	50 %
Durchschnittlich angesetzte Kosten	<b>27</b>	

Es wird die Annahme getroffen, dass die Stromkosten auf lange Sicht deutlich sinken werden. Grund dafür ist, unter anderem, dass die aktuelle politische Situation und der aktuelle Strompreis einem Extrem entsprechen. Es wird davon ausgegangen, dass sich diese Situation langfristig ändert und sich die Strompreise auf einem niedrigeren Niveau einpendeln.

Table 6-2: Kostenentwicklung Pellets

	Pelletpreis [€/t]	Gewichtung
Kosten 2022, BRD	600	30 %
Kosten 2023, BRD	380	30 %
Kosten 2043, BRD	300	40 %
Durchschnittlich angesetzte Kosten	<b>414</b>	

Aufgrund der politischen Situation 2022/2023 und dem Erdgasangel sind die Pelletpreise ungewöhnlich hoch gewesen. Somit wird davon ausgegangen, dass sich diese Preise auf lange Sicht wieder verringern. Durch eine zunehmende Verknappung wird sich das zukünftige Preisniveau nicht auf dem der Vorjahre einpendeln, sondern eher darüber liegen. Ähnliches gilt für die Preise der Holzhackschnitzel. Der durchschnittliche Preis wird nach der nachfolgenden Tabelle angenommen.

#### Vergleichsmethode

Für die Varianten werden nach Berechnung der Investitionskosten, der Förderhöhe, der jährlichen Kosten (Betriebs, bedarfsgebundene und sonstige Kosten, inkl. Verrechnung der Einnahmen aus Stromeinspeisung) kostendeckende Wärmepreise (Wärmegestehungskosten) ermittelt, die die Grundlage des wirtschaftlichen Vergleichs bilden. Diese kostendeckenden Wärmepreise werden ermittelt, indem die Summe der jährlichen Kosten und der jährlichen Kapitalkosten durch den jährlichen Energiebedarf geteilt wird.

<sup>6</sup> Strompreisprognose 2023, Prognos AG Berlin: <https://www.prognos.com/de/projekt/strompreisprognose-2023>

## 6.2 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In der folgenden Tabelle sind die Höhe der Investitionen und die sich ergebenden jährlichen Kosten aufgeführt. Die jährlichen Kosten ergeben sich aus der Verrechnung aller Kosten in den nächsten 20 Jahren. Die entstehenden Gesamtkosten werden auf die Menge der Wärmebereitstellung bezogen, sodass ein kostendeckender Wärmepreis in €/MWh resultiert.

Tabelle 6-3: Investitions- & jährliche Kosten

Variante	V1	V2	V3	V4	V5	Einheit
Investition vor Förderung	777	802	1.087	621	550	Tsd.€
Förderung	211	220	85	39	80	Tsd.€
Investition nach Förderung	567	583	1.002	582	471	Tsd.€
Jährl. Kosten	102	103	99	117	108	€/a
<b>Kostendeckender Wärmepreis</b>	<b>237</b>	<b>241</b>	<b>231</b>	<b>273</b>	<b>252</b>	<b>€/MWh</b>

In der folgenden Tabelle sind die jährlichen Kosten detailliert aufgeschlüsselt. Dabei sind die Werte in der Berechnung folgendermaßen zusammengefasst:

- Bedarfsgebundene Kosten: Kosten für Betriebsstoffe, insbesondere Strom, Erdgas, Biomethan u. ä.
- Betriebsgebundene Kosten: Instandhaltungskosten und Wartungskosten, Betriebskosten für Verteilnetze
- Sonstige Kosten: Versicherungskosten
- Jährliche Einnahmen: Vergütung der PV-Einspeisung durch EEG
- Bei den Varianten mit PV entsteht eine Kostenersparnis durch die Nutzung des PV-Stroms

Tabelle 6-4: Jährliche Kosten

Variante	V1	V2	V3	V4	V5	Einheit
Bedarfsgebundene Kosten	52,8	52,6	43,5	66,7	75,3	Tsd.€/a
Betriebsgebundene Kosten	13,6	14,5	9,0	9,0	3,8	Tsd.€/a
Sonstige Kosten	1,6	1,7	2,2	1,3	2,3	Tsd.€/a
Kapitalgebundene Kosten	35,6	36,5	62,6	41,2	28,8	Tsd.€/a
Summe Jährliche Einnahmen	-2,0	-2,0	-18,2	-0,9	-2,4	Tsd.€/a
Summe Jährliche Ausgaben	103,5	105,3	117,4	118,1	110,2	Tsd.€/a
<b>Jährl. Kosten = Ausgaben - Einnahmen</b>	<b>101,5</b>	<b>103,3</b>	<b>99,2</b>	<b>117,2</b>	<b>107,9</b>	<b>Tsd.€/a</b>

### 6.3 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Unter dem Begriff CO<sub>2</sub>-Emissionen sind nachfolgend immer CO<sub>2</sub>-Äquivalente gemeint. Für die Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden die eingesetzten Primärenergien der Wärmeversorgung betrachtet. Die eingesetzte Primärenergie ist der deutsche Strommix. In das Netz eingespeister Überschussstrom wird den jeweiligen Varianten gutgeschrieben, da damit anderweitig produzierter Strom ersetzt werden kann.

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Einsatz von Strom entstehen, wird mit folgenden Durchschnittswerten für die nächsten 20 Jahre gerechnet. Zur Ermittlung der Emissionen durch den Einsatz von Pellets und Holzhackschnitzel werden die Werte aus dem Merkblatt<sup>7</sup> des BAFA verwendet.

Tabelle 6-5: Übersicht der CO<sub>2</sub>-Emissionen

	CO <sub>2</sub> -Emissionen 2023	CO <sub>2</sub> -Emissionen 2043	Durchschnitt
<b>Deutscher Strommix</b>	380 g/kWh	70 g/kWh	225 g/kWh
<b>Verdrängungsstrom</b>	860 g/kWh	70 g/kWh	465 g/kWh
<b>Biomasse</b>	20 g/kWh	20 g/kWh	20 g/kWh

Für die Berechnung der Primärenergiebedarfe wird mit folgenden Durchschnittswerten für die nächsten 20 Jahre gerechnet.

Tabelle 6-6: Übersicht der Primärenergiefaktoren

	Primärenergiefaktor 2022	Primärenergiefaktor 2042	Durchschnitt Primärenergiefaktor
<b>Deutscher Strommix</b>	1,8	0,4	1,1
<b>Verdrängungsstrom</b>	2,8	0,7	1,75

Für die errechneten Primärenergiebedarfe der Varianten gilt, dass für ein Zertifikat die sogenannte Kappungsregel greift, die sehr niedrige Primärenergiefaktoren auf mindestens 0,3 setzt.

<sup>7</sup> Informationsblatt CO<sub>2</sub>-Faktoren, Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft

## 6.4 Ergebnisse der Emissionsanalyse

Die hier aufgeführten CO<sub>2</sub>-Emissionen ergeben sich aus dem Strom- und Biomasseeinsatz der jeweiligen Varianten. Der Strombedarf für die allgemeinen Anwendungen wie z. B. Beleuchtung ist in allen Varianten gleich. Variabel ist der Strombedarf für den Betrieb der Wärmeerzeugungsanlagen. In den Varianten mit PV wird der nutzbare PV-Strom vom Strombedarf für die Wärmepumpen abgezogen. Zudem ergibt sich eine CO<sub>2</sub>-Gutschrift durch die Einspeisung in das Netz, auch wenn keine wirtschaftlichen Gewinne entstehen.

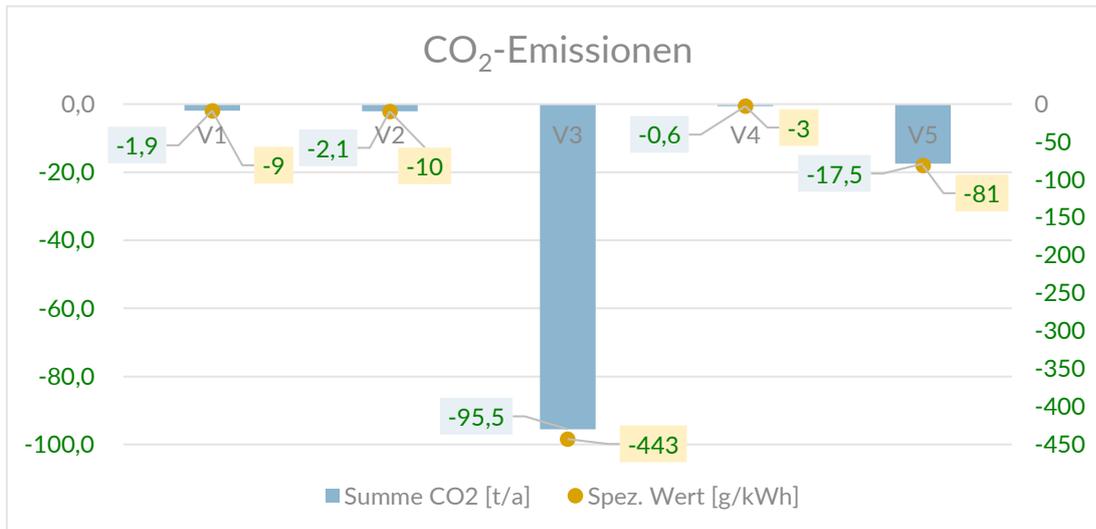


Abbildung 6-1: CO<sub>2</sub>-Emissionen der Varianten

Die geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen werden in der Varianten 3 erreicht. In den übrigen Varianten ergeben sich deutlich rechnerisch negative Werte für die Emissionen, bedingt durch die negativ-Emissionen des PV-Stroms. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Anteile CO<sub>2</sub>-Emissionen nach eingesetztem Energieträger.

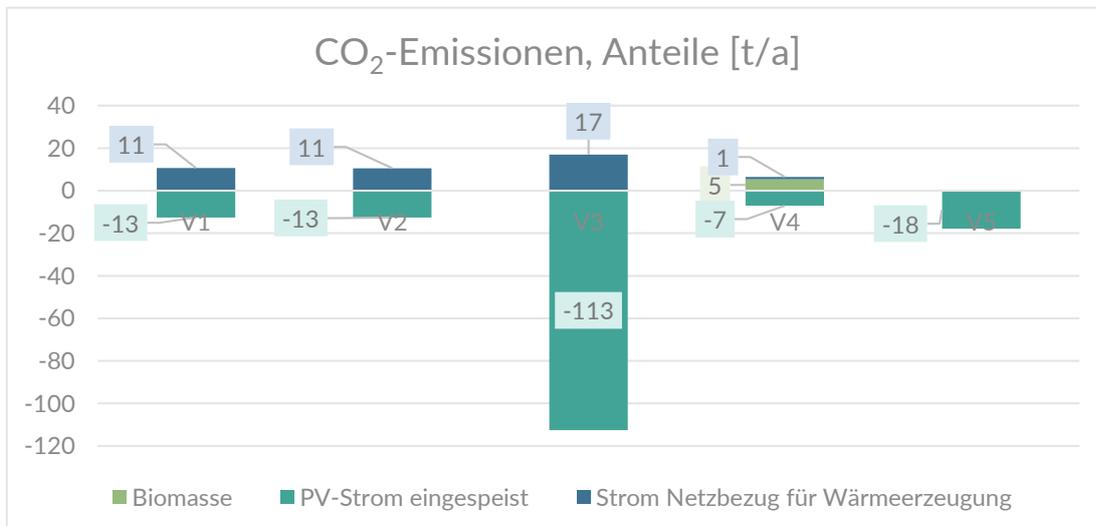


Abbildung 6-2: CO<sub>2</sub>-Emissionen der Varianten, Anteile

Der Primärenergiefaktor steigt bzw. sinkt mit der Höhe der Primärenergiebedarfes, da die erzeugte Wärmeenergie in allen Varianten gleich ist. Der Faktor zeigt in etwa, wie viel Primärenergie zur Erzeugung der Endenergie notwendig ist. Die Abhängigkeit des Primärenergiefaktors zum Primärenergiebedarf ist in nachfolgender Abbildung erkennbar.

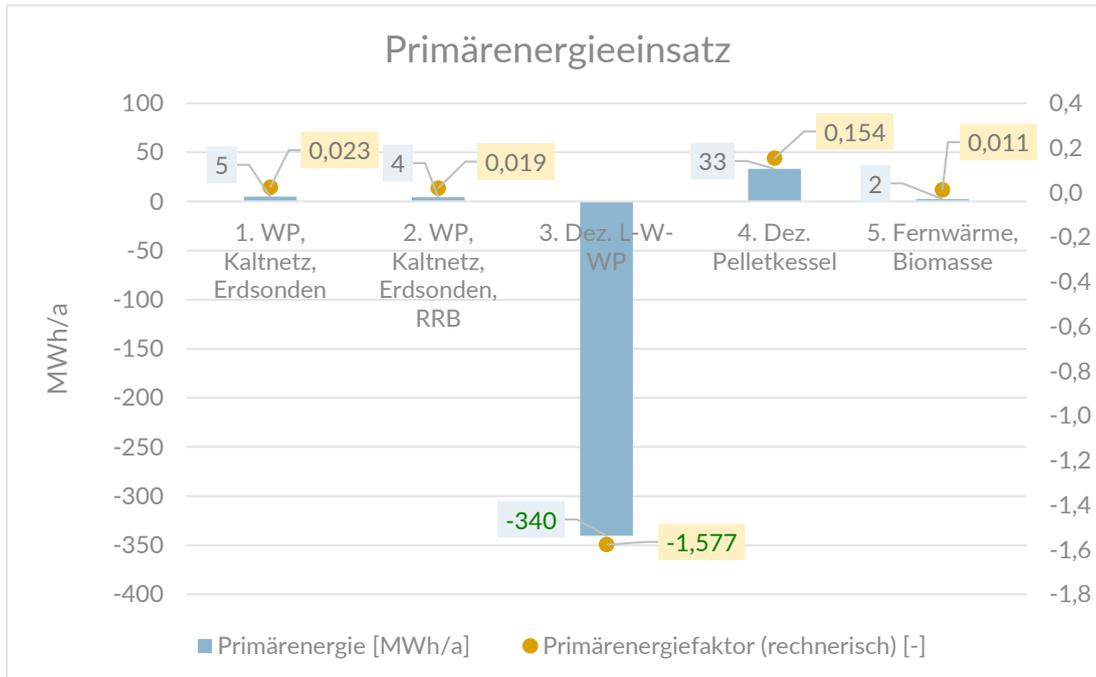


Abbildung 6-3: Primärenergieeinsatz

Tabelle 6-7: Ergebnisse der Emissionsanalyse

Variante	V1	V2	V3	V4	V5	Einheit
Summe CO <sub>2</sub> [t/a]	-1,9	-2,1	-95,5	-0,6	-17,5	t/a
Spez. Wert [g/kWh]	-9	-10	-443	-3	-81	g/kWh
Primärenergie [MWh/a]	5	4	-340	33	2	MWh/a
Primärenergiefaktor (rechnerisch) [-]	0,023	0,019	-1,577	0,154	0,011	-

## 6.5 Bewertung der Ergebnisse und Fazit

Um aus den vorgestellten Varianten eine Empfehlungsvariante herauszustellen, können unterschiedliche Ergebnisse betrachtet werden. Nachfolgenden werden einige Kriterien erläutert und bewertet.

### Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergibt sich eine der wichtigsten Kennzahlen, der kostendeckende Wärmepreis (Wärmegestehungskosten). Demnach kann mit der Variante V3 am kostengünstigsten Wärme erzeugt werden, da die Wärmegestehungskosten hier bei etwa 231 €/MWh liegen. An zweiter Stelle steht die Variante 1 mit 237 €/MWh und an dritter Stelle die Variante V2 mit 241 €/MWh.

Die Höhe der Investitionskosten nach Förderung, die notwendig sind, um die Energieversorgung neu aufzustellen, sind ein wichtiges Kriterium zur Bewertung der Versorgungsvarianten. Diese fallen in der Variante 5 mit ca. 471.000 € am geringsten aus.

Den größten Anteil der jährlichen Kosten machen in den Varianten 1, 2, 4 und 5 die bedarfsgebundenen Kosten aus. In Variante 3 machen die kapitalgebundenen, durch die

Investitionshöhe bedingten Kosten den größten Anteil aus. In bedarfsgebundenen Kosten stecken die Kosten für den Einkauf von Strom zum Betrieb der Wärmepumpen und die Kosten für den Einkauf von Pellets/Hackschnitzeln. Diese Kosten können zukünftig sehr großen Schwankungen unterliegen. Aufgrund der geringen bedarfs-, betriebs-, und kapitalgebundenen Kosten ergeben sich für die Variante 3 die geringsten jährlichen Kosten von ca. 99.000 €/a.

### Emissionsanalyse

Die Umweltbelastung bzw. Umweltverträglichkeit nimmt eine immer größere Rolle bei der Bewertung der Energieversorgung ein. Die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen ergeben sich bei den Varianten durch den Einsatz der Photovoltaik und durch die enorm hohe CO<sub>2</sub>-Gutschrift. So weist die Variante 3 mit rechnerisch geringen Emissionswerten die geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf. Insgesamt ist die Umweltbilanz in allen Varianten sehr gut, wodurch alle Varianten dem Begriff einer Klimaschutzsiedlung gerecht werden.

### Bewertungsmatrix

Anhand gewählter Kriterien und einer Gewichtung dieser lässt sich eine Bewertungsmatrix aufstellen. Hier lassen sich alle Kriterien zu den Varianten darstellen.

Tabelle 6-8: Bewertungsmatrix

	<b>Gew. [%]</b>	<b>V1 [Platz]</b>	<b>V2 [Platz]</b>	<b>V3 [Platz]</b>	<b>V4 [Platz]</b>	<b>V5 [Platz]</b>
<b>Einzelvermarktung</b>	15	3	3	1	2	3
<b>Wärmegestehungskosten</b>	25	2	3	1	5	4
<b>Investitionskosten</b>	25	2	3	4	3	1
<b>Sensitivität bei Preissteigerungen</b>	10	2	1	3	5	4
<b>Primärenergiefaktor</b>	10	2	2	1	3	2
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>	15	3	3	1	4	2
<b>Summe</b>	100	2,3	2,7	1,95	3,7	2,6
<b>Platz</b>		<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>3</b>

Nach der voranstehenden Bewertungsmatrix ist die Variante 3 mit dezentraler Versorgung durch Luft-Wasser-Wärmepumpen die Vorzugsvariante. Eine Alternative dazu stellt die Variante 1 dar, welche an zweiter Stelle steht. An dritter Stelle stehen theoretisch die beiden Varianten 2 und 5, da beide eine nahezu gleiche Bewertung (2,6 und 2,7) aufweisen.

### Ausblick 2043

Alle Versorgungsvarianten wurden auf einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren untersucht. Die eingesetzten Komponenten sind so bewertet worden, dass sie zu entsprechenden Kosten ersetzt werden, sollten Sie eine geringere Lebensdauer als 20 Jahre aufweisen, bzw. wurden mit einem Restwert von 0 € angesehen, sollten Sie eine längere Lebensdauer als 20 Jahre aufweisen. Das bedeutet, dass nach dem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren alle Anlagen abgeschrieben sind.

Folgende Komponenten weisen eine zu erwartende höhere Lebensdauer auf:

- PV-Anlage: Lebensdauererwartung 30 bis 40 Jahre
- Pellet/Hackschnitzel Bunker: Lebensdauererwartung bis 40 Jahre
- Erdwärmesonden, Wärmenetze: Lebenserwartung 40 – 60 Jahre

Es wird angenommen, dass die Wärmepumpen einen um 0,1 besseren COP aufweisen. Begründet ist das mit dem fortschreitenden Klimawandel, einer höheren durchschnittlichen Wassertemperatur und einer Weiterentwicklung der Technologie der Wärmepumpen zur Effizienzsteigerung. Unter sonst gleichen Bedingungen gegenüber der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung kann dann mit folgenden kostendeckenden Wärmepreisen kalkuliert werden.

Zudem wird angenommen, dass es keine passenden Förderprogramme und keine Vergütung von PV-Strom nach EEG geben wird. Die für die Zukunft angenommenen Preise für Strom und Pellets werden als konstant angenommen.

Tabelle 6-9: Übersicht Wärmepreise ab 2043

Variante	V1	V2	V3	V4	V5	Einheit
Investition vor Förderung	301	301	343	473	147	Tsd.€
Wärmepreis	173	172	115	225	185	€/MWh

Die Ergebnisse zeigen, dass die Variante 3 für einen weiterführenden Betrieb nach 20 Jahren einen wirtschaftlich vorteilhaften Betrieb darstellen. Diese Ergebnisse bekräftigen die Empfehlung der Versorgungsvariante 3.

### Fazit und Empfehlung

Unter Betrachtung aller relevanten Aspekte wird die Umsetzung der Variante 3 empfohlen. Diese Variante weist den geringsten Wärmepreis und die beste Umweltbilanz auf. Somit ist diese Variante aus wirtschaftlicher und umwelttechnischer Sicht die beste. Auch nach allen Kriterien der Bewertungsmatrix entsteh hier das beste Ergebnis.

## 6.6 Nächste Schritte

Für die Varianten mit Genehmigungsbedarf kann ein entsprechender Scoping-Termin mit der Unteren (bzw. Oberen) Wasserbehörde erfolgen, bei dem die grundsätzliche Genehmigungsfähigkeit abgestimmt werden kann.

Des Weiteren müssen die rechtlichen und städtebaulichen Rahmenbedingungen geklärt werden.

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse muss eine Variante ausgewählt werden, um diese detailliert zu planen.

## 7 ANHANG

- Investitionskosten

### 3. Investitionskosten

alle Preise netto zzgl. MwSt.

				Lösung 1		Lösung 2		Lösung 3		Lösung 4		Lösung 5	
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				WP, Kaltnetz, Erdsonden		WP, Kaltnetz, Erdsonden, RRB		Dez. L-W-WP		Dez. Pelletkessel		Fernwärme, Biomasse	
KG	Investitionskapitalbedarf Gesamt			777.500 €		802.400 €		1.087.200 €		620.600 €		550.100 €	
1	0	0	Grundstück	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0	0	Herrichten und Erschließen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0	0	Bauwerk - Baukonstruktion	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0	0	Bauwerk - Technische Anlage	-	642.540 €	-	663.160 €	-	898.490 €	-	512.900 €	-	454.640 €
4	1	0	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen	-	-	-	53.110 €	-	-	-	-	-	-
4	1	2	Wasseranlagen	-	-	53.110 €	-	-	-	-	-	-	-
4	2	0	Wärmeversorgungsanlagen	-	490.600 €	-	458.110 €	-	283.520 €	-	390.550 €	-	265.110 €
4	2	1	Wärmeerzeugungsanlagen	-	400.090 €	-	257.610 €	-	253.050 €	-	358.370 €	-	-
4			Wärmepumpe	221.990 €	-	221.990 €	-	253.050 €	-	-	-	-	-
4			Erdwärmesonde	178.100 €	-	35.620 €	-	-	-	-	-	-	-
4			Biomasseanlage	-	-	-	-	-	-	358.370 €	-	-	-
4	2	2	Wärmeverteilnetze	-	64.130 €	-	174.130 €	-	-	-	-	-	239.700 €
4			Rohrnetz	64.130 €	-	64.130 €	-	-	-	-	-	144.000 €	-
4			Übergabestationen (Wärmepumpen)	-	-	110.000 €	-	-	21.600 €	-	6.170 €	95.700 €	-
4	2	9	Wärmeversorgungsanlagen, sonstiges	-	26.370 €	-	26.370 €	-	30.470 €	-	32.170 €	-	-
4	3	0	Lufttechnische Anlagen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	4	0	Starkstromanlagen	-	151.940 €	-	151.940 €	-	614.970 €	-	122.350 €	-	189.530 €
4	4	2	Eigenstromversorgungsanlagen	151.940 €	-	151.940 €	-	614.970 €	-	122.350 €	-	189.530 €	-
5	0	0	Außenanlagen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0	0	Ausstattung und Kunstwerke	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	0	0	Baunebenkosten	-	134.930 €	-	139.260 €	-	188.680 €	-	107.710 €	-	95.470 €
7	1	0	Bauherrenaufgaben	-	6.430 €	-	6.630 €	-	8.980 €	-	5.130 €	-	4.550 €
7	2	0	Vorbereitung der Objektplanung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	3	0	Architekten- und Ingenieurleistung	-	128.510 €	-	132.630 €	-	179.700 €	-	102.580 €	-	90.930 €