
Energiekonzept für das Baugebiet
Friedenseiche VIII

aufgestellt durch



GP JOULE Think GmbH & Co. KG
Maierhof 1
86647 Buttenwiesen

beauftragt durch

Stadt Ebersberg
Marienplatz 1
85560 Stadt Ebersberg

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
2. Wärmebedarfsanalyse	6
3. Erstellung einer Trasse	7
4. Einbeziehung örtlicher geologischer Gegebenheiten	9
5. Varianten der Wärmeversorgung mit Bewertung der Spitzen- und Reservelast	9
5.1 Abschätzung der Kostenstruktur	11
5.1.1 Investitionsgebundene Kosten	11
5.1.2 Bedarfsgebundene Kosten	14
5.1.3 Betriebsgebundene Kosten	15
5.2 Vollkosten	16
5.3 Darstellung der ökologischen Aspekte	17
6. Intelligente Steuerung	19
6.1 Steuerung von Wärmenetzen	19
6.2 Steuerung dezentraler Wärmeerzeuger	20
7. Analyse möglicher Betreibermodelle	21
8. Analyse der Nutzung erneuerbarer Energien	22
9. Bewertung potentieller Erzeuger regenerativen Stroms	25
10. Einfluss der Wärmeversorgung auf die baulichen Anforderungen	33
11. Empfehlung nach ökologischer sowie ökonomischer Sicht	33

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Mittlere Außentemperatur für die Stadt München in stündlicher Auflösung (Quelle: DWD)</i>	<i>7</i>
<i>Abbildung 2: Wärmenetz in Friedenseiche VIII</i>	<i>8</i>
<i>Abbildung 3: Freiflächenpotentialanalyse für die Stadt Ebersberg</i>	<i>24</i>

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Annahmen zu Gebäudeflächen</i>	<i>6</i>
<i>Tabelle 2: Beschreibung der Wärmeversorgungsvarianten</i>	<i>10</i>

<i>Tabelle 3: Beschreibung der Kostenstruktur.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabelle 4: Investitionskosten der betrachteten Varianten</i>	<i>13</i>
<i>Tabelle 5: Energiemengen & Leistungsgrößen nach Optimierung der verschiedenen Varianten....</i>	<i>14</i>
<i>Tabelle 6: Vollkostenvergleich der verschiedenen Varianten</i>	<i>16</i>
<i>Tabelle 7: Emission von CO₂- Äquivalenten (Berechnungsmethode nach LfU, 2018).....</i>	<i>18</i>
<i>Tabelle 8: Vollkostenindikation mit Berücksichtigung einer PV Dachanlage mit Südausrichtung bei 6° Dachneigung.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 9: Vollkostenindikation mit Berücksichtigung einer PV Dachanlage mit Nordausrichtung bei 6° Dachneigung.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabelle 10: Vollkostenindikation mit Berücksichtigung einer PV Dachanlage mit Westausrichtung bei 6° Dachneigung</i>	<i>29</i>
<i>Tabelle 11: Vollkostenindikation mit Berücksichtigung einer PV Dachanlage mit Südausrichtung bei 15° Dachneigung</i>	<i>30</i>
<i>Tabelle 12: Vollkostenindikation mit Berücksichtigung einer PV Dachanlage mit Nordausrichtung bei 15° Dachneigung.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabelle 13: Vollkostenindikation mit Berücksichtigung einer PV Dachanlage mit Westausrichtung bei 15° Dachneigung.....</i>	<i>32</i>

1. Einleitung

Der Klimawandel und der steigende globale Energiebedarf machen eine Abkehr vom heutigen System der Energieversorgung notwendig. Nicht zuletzt durch den Atomausstieg, sind ein gesellschaftlicher Wandel und der Wunsch zu erkennen, eine nachhaltige Energieversorgung, welche sowohl ökonomischen, ökologischen als auch sozialen Bedürfnissen Rechnung trägt, zu erreichen.

Der Wärmesektor spielt dabei in der Energieversorgung mit über 50 % Anteil am gesamten Endenergiebedarf die größte Rolle. Der Großteil des Wärmebedarfs entfällt wiederum mit etwa 46 % auf private Haushalte. Somit haben der Wärmesektor und insbesondere die privaten Haushalte eine Schlüsselrolle in der Reduktion klimaschädlicher Abgase und dem Gelingen der Energiewende. Nicht zuletzt ist die Erzeugung von Wärme dabei insbesondere für den Bürger von besonders hohem Stellenwert, da dieser Bereich ein enormes Potential im Hinblick auf die Verringerung von Heizkosten hat. Die Nutzung überschüssiger Wärme bzw. die gemeinsame Bereitstellung von Heizenergie mittels eines Wärmenetzes wirken sich dabei besonders positiv auf den ökologischen Fußabdruck der Bürger und der Kommune aus.

Diese Studie soll als Wegweiser dienen, welche Wärmeversorgung im Neubaugebiet sinnvoll ist. Dazu wird in einem ersten Schritt eine Trassierung eines möglichen Wärmenetzes vorgenommen.

Auf Grundlage einer optimierten Leitungsführung sowie einer groben Wärmeerzeugerstruktur werden die Vollkosten der leitungsgebundenen Wärmeversorgung den fossilen Erzeugungsanlagen gegenübergestellt. Weiter werden die zu erzielenden Einsparungen von Treibhausgasen berechnet, sowie ein Fazit mit Ausblick auf ein mögliches weiteres Vorgehen gegeben.

2. Wärmebedarfsanalyse

Für die Wärmebedarfsanalyse wurde der zur Verfügung gestellte Bebauungsplan herangezogen. Anhand der Aussagen zur Grundstücksgröße, Grundflächenzahl sowie maximalen Anzahl der Vollgeschosse wurde eine mittlere Wohnfläche in Abhängigkeit der genannten Parameter errechnet. Folgende Abbildung zeigt die zur weiteren Berechnung verwendete mittlere Wohnfläche pro Gebäude.

Tabelle 1: Annahmen zu Gebäudeflächen

Parzelle	Fläche des Grundstücks	Gebäudetyp	Anzahl der Gebäude	GFZ	Geschossanzahl	Grundfläche	Wohnfläche pro Gebäude
1	2070	EFH	3	0,3	2	621	210
2	770	EFH	1	0,5	3	385	590
3	662	EFH	1	0,5	3	331	510
4	1980	RH	12	0,5	3	990	130
4	1485	DH	2	0,3	3	446	340
5	312	RH	1	0,5	3	156	240
6	329	RH	1	0,5	3	165	250
7	337	RH	1	0,5	3	169	260
8	972	RH	6	0,5	3	486	120
8	1430	DH	2	0,5	3	715	550
9	312	RH	1	0,5	3	156	240
10	312	RH	1	0,5	3	156	240
11	309	RH	1	0,5	3	155	230
12	960	RH	6	0,5	3	480	120
12	1430	DH	2	0,5	3	715	550
13	310	RH	1	0,5	3	155	240
14	310	RH	1	0,5	3	155	240
15	310	RH	1	0,5	3	155	240
16	530	EFH	1	0,3	2	159	160
17	655	EFH	1	0,3	2	197	190
18	717	EFH	1	0,3	2	215	210
19	795	EFH	1	0,3	2	239	230

Der spezifische Wärmebedarf wurde unter der Annahme der Einhaltung aktueller Anforderungen nach EnEV auf 70 kWh pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr geschätzt. Für das Neubaugebiet wurde dabei eine Anschlussquote von 100 % angenommen.

Zur Berechnung der benötigten Erzeugerleistung wurde der Wärmebedarf anhand der Außentemperatur in Ebersberg berechnet. Abbildung 1 zeigt die verwendeten Temperaturdaten der nächstgelegenen Wetterstation des DWD. Aus den Parametern Außentemperatur, Warmwasserbedarf und Heizgrenztemperatur werden die benötigte Leistung als Stundenwerte sowie daraus eine Dauerlinie für den Heizbedarf berechnet.

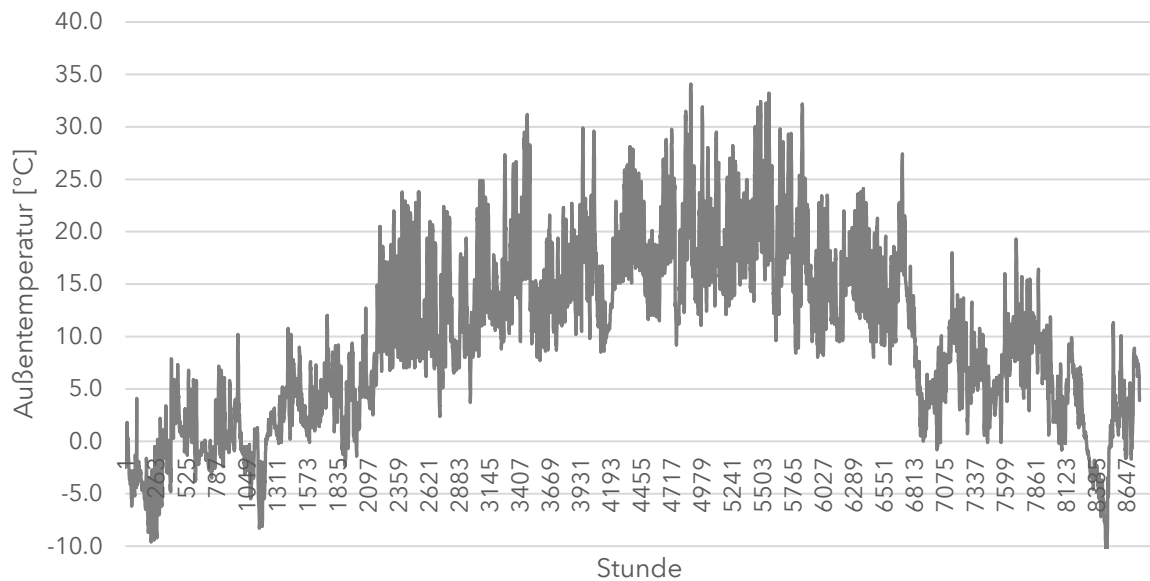
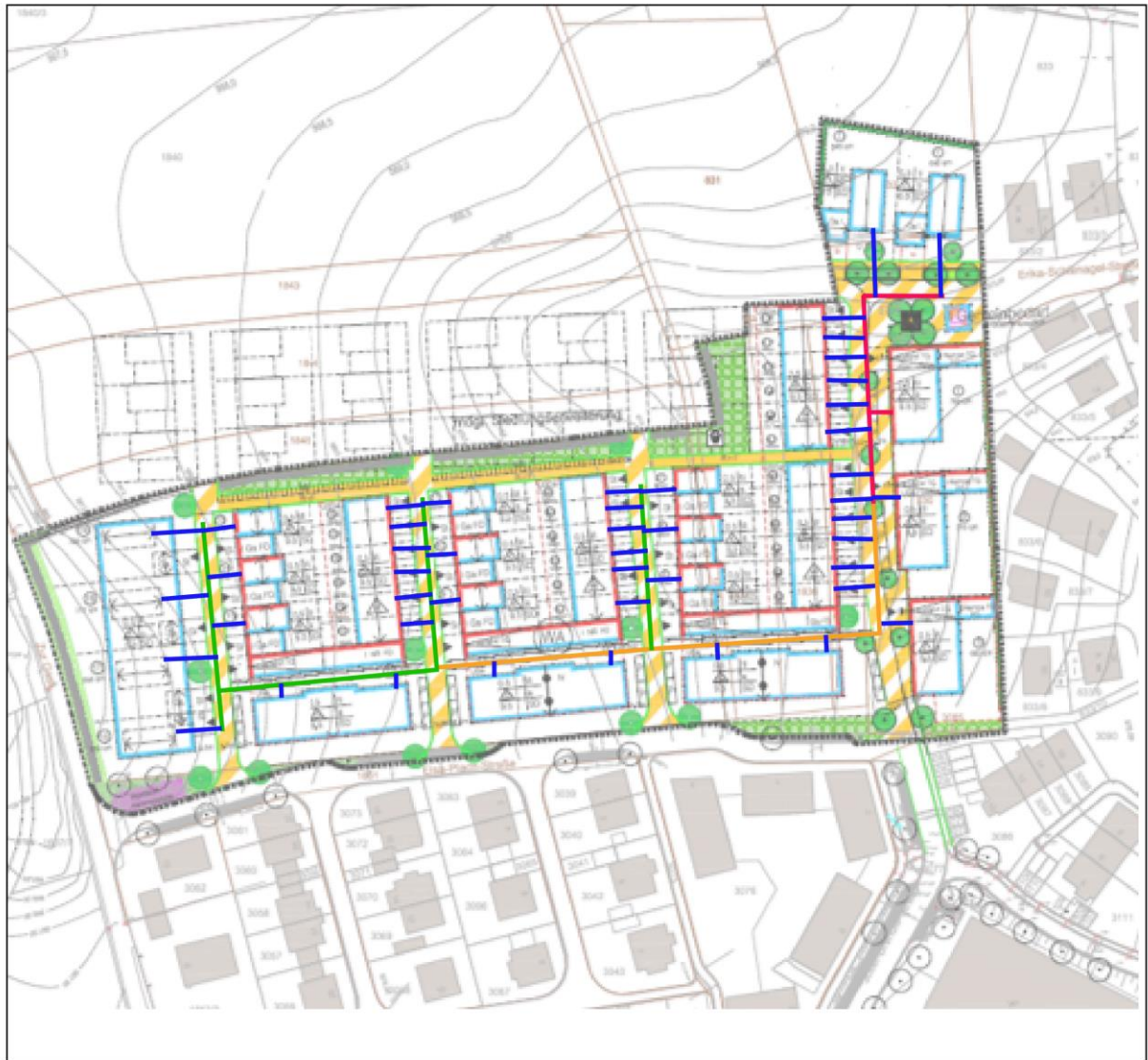


Abbildung 1: Mittlere Außentemperatur für die Stadt München in stündlicher Auflösung (Quelle: DWD)

Somit ergibt sich für alle im Wohngebiet geplanten Gebäude ein jährlicher Wärmebedarf von etwa 793 MWh pro Jahr bei einem thermischen Leistungsbedarf von etwa 370 kW.

3. Erstellung einer Trasse

Bei der Realisierung eines Wärmenetzes nehmen die Errichtungskosten, neben dem Energieeinkauf, den größten Anteil an den Vollkosten eines Wärmenetzes ein. Zur Berechnung der Kosten des Wärmenetzes muss vorab ein fiktives Netz im Projektgebiet skizziert werden. Anschließend wird das Netz in sinnvolle Abschnitte geteilt. Für jeden Abschnitt wird anschließend eine Grobdimensionierung vorgenommen. Für die dargestellte Variante wurde ein Wärmenetz mit 838 Metern Leitungslänge inklusive der Hausanschlussleitungen trassiert. Die Ergebnisse der Trassierung sind in Abbildung 2 zu sehen.



Trassierung im Wohngebiet Friedenseiche VIII

Legende

Trasse

- DN 25
- DN 50
- DN 65
- DN 80

Projekt
Energiestudie für Friedenseiche VIII

Standort
Landkreis Ebersberg

Datum
26.09.2019

Ansprechpartner
GP JOULE GmbH
Maierhof 1 • 86647 Buttenwiesen
Tel.: +49 8274 9278-0 (Zentrale)
Fax: +49 8274 9278-599
info@gp-joule.de • www.gp-joule.de

0 30 60 m

Maßstab (DIN A4) 1 : 2.000

Abbildung 2: Wärmenetz in Friedenseiche VIII

4. Einbeziehung örtlicher geologischer Gegebenheiten

Geologisch befindet sich das Wohngebiet Friedenseiche VIII im Bereich der würmeiszeitlichen Jungmoräne mit Endmoränenzügen. Dabei ist das Material charakterisiert durch sandigen bis schluffigen Kies in einer Abfolge verschiedener Mächtigkeiten. Mit einer Wärmeleitfähigkeit von bis zu 1,4 Watt pro Meter und Kelvin bis in 100 Metern Tiefe (vgl. Energieatlas Bayern) ist dabei mit mäßiger Eignung des Untergrunds für die Erdwärmennutzung zu rechnen. Somit ist pro Kilowatt Heizleistung mit mindestens 30 Metern Sondenlänge zu rechnen. Oberflächennahe Geothermie in Form von Flächenkollektoren wurde aufgrund der relativ kleinen Grundstücksgrößen nicht in die weitere Betrachtung einbezogen. Geothermie auf Grundlage von Grundwasser wurde ebenfalls nicht berücksichtigt, da sich hier die Kosten eine Wärmeversorgung durch aufwendige Bohrungen teurer darstellten als Lösungen mittels Erdsonden.

5. Varianten der Wärmeversorgung mit Bewertung der Spitzen- und Reserverlast

Für die Studie wurden vier Varianten der Wärmeversorgung betrachtet. Die ersten beiden Varianten („zentraler Pelletkessel“ sowie „zentrales BHKW“) sind klassische Nahwärmenetze mit einer Vorlauftemperatur von etwa 60 bis 80 °C. Die Variante „zentrale WP & dezentrale WP“ ist ein klassisches kaltes Netz welches auf Seite des Netzes mit einer Vorlauftemperatur von etwa 25 °C arbeitet. Die letzte betrachtete Variante beschreibt eine Wärmeversorgung mit einer Einzelanlagen pro Kunde ohne Wärmenetz. Sämtliche Varianten wurden mithilfe mathematischer Algorithmen in der Leistungsgröße der Wärmeerzeuger, ihrer Einsatzhäufigkeit und -dauer sowie in der Größe der Pufferspeicher optimiert. Tabelle 2 gibt nochmals einen Überblick über die betrachteten Varianten. Tabelle 5 zeigt die benötigten Leistungsgrößen der jeweiligen Wärmeerzeuger sowie zugehörigen Energiemengen.

Tabelle 2: Beschreibung der Wärmeversorgungsvarianten

Bezeichnung	zentraler Pelletkessel	zentrales BHKW	zentrale WP & dezentrale WP	dezentrale WP
Betriebsweise	Wärmenetz	Wärmenetz	kaltes Netz	Einzelanlagen
Erzeugungsort	zentral	zentral	zentral & dezentral	dezentral
Grundlast	Pelletkessel	Erdgas-BHKW	zentrale Wärmepumpe	dezentrale Wärmepumpen
Spitzenlast	Erdgas	Wärmepumpe & Gaskessel	dezentrale Wärmepumpen	-

Zentraler Pelletkessel

Die erste betrachtete Variante „zentraler Pelletkessel“ geht von einer Pelletheizung als zentrale Wärmeversorgung aus. Als Spitzen-, sowie Reservelast ist in dieser Variante ein Gaskessel vorgesehen. Das Wärmenetz wird klassisch als warmes Netz mit Vorlauftemperaturen von 60° bis 80° C betrieben. Ein großer Pufferspeicher ermöglicht eine optimierte Fahrweise der Erzeugungsanlagen.

Zentrales BHKW

In Variante „zentrales BHKW“ wurde ein Mini-BHKW sowie ein Gaskessel als Spitzen- und Reservekessel vorgesehen. Aufgrund der geringen Einspeisevergütung von derzeit 8 Cent / kWh sorgt eine Wärmepumpe für eine effiziente Nutzung des erzeugten Stroms. Auch hier sorgt ein Pufferspeicher für eine optimierte Fahrweise sowie optimale Auslastung des BHKWs. Das Wärmenetz wird hier ebenso als klassisches Netz mit Vorlauftemperaturen von bis zu 80 °C betrieben.

Zentrale WP & dezentrale WP

In der dritten Variante „zentrale WP & dezentrale WP“ werden dezentrale Wärmepumpen bei den Abnehmern sowie eine zentrale Sole-Wärmepumpe eingesetzt. Die Sole-Wärmepumpe nutzt dabei über eine Erdsonde die Wärmeenergie aus dem Boden. Ein Kältemittel,

welches zwischen Sonde und Wärmepumpe zirkuliert nimmt Umweltwärme auf. Mittels einer Pumpe wird es anschließend der Wärmepumpe zugeführt und dort auf das gewünschte Temperaturniveau gebracht. In der Anlagenoptimierung wurde eine Vorlauftemperatur des Wärmenetzes von maximal 25 °C kalkuliert, welche von der zentralen Sole-Wärmepumpe konstant generiert wird. Über ein kaltes Netz wird den Kunden das vortemperierte Wasser zur Verfügung gestellt. Die kundenseitig verbauten dezentralen Wärmepumpen nutzen die Wärmeenergie aus dem Netz und heben damit das Heiz- und Brauchwasser auf die notwendige Temperatur an. Für die Kostenkalkulation wurde eine kundenseitig notwendige Vorlauftemperatur von 50°C angenommen. Da die zentrale Wärmepumpe eine konstante Vorlauftemperatur zur Verfügung stellt, kann die Wärmepumpe auf Kundenseite sehr effizient arbeiten und somit im Vergleich zur dezentralen Variante auch kleiner dimensioniert werden.

Dezentrale Wärmepumpe

Die letzte beschriebene Variante „dezentrale Wärmepumpe“ geht von einer klassischen Einzelversorgung der Gebäude aus. Die Wärmeversorgung wird dabei über Sole-Wärmepumpen gewährleistet. Zusätzlich zu den Wärmepumpen sind hier auch Pufferspeicher vorgesehen. Ein Spitzenlastkessel oder Redundanz ist in dieser Variante nicht enthalten.

5.1 Abschätzung der Kostenstruktur

5.1.1 Investitionsgebundene Kosten

Folgende Übersicht in Tabelle 3 zeigt die einzelnen Bauteile, welche in die Kostenbetrachtung der Varianten einbezogen wurden. Die Kosten beinhalten sowohl die Lieferung als auch deren Installation und Inbetriebnahme.

Zur Berechnung der Investitionskosten wurde bei den netzgebundenen Varianten auf die Trassierung zurückgegriffen, welche anhand aktueller Tief- und Rohrbaukosten eine Abschätzung der Gesamtkosten des Wärmenetzes zuließ. Die Tiefbaukosten beinhalten sowohl Kosten für den Aushub auf unbefestigtem Grund als auch das Einsanden des Rohrs und der anschließenden Verfüllung mit lagenweiser Verdichtung. Falls die Verlegung des Wärmenetzes während der Erschließungsphase des Neubaugebiets möglich sein sollte, können im Tiefbau entsprechend Kosten eingespart werden. Je nachdem welche Arbeiten

von der Erschließungsfirma übernommen werden können bis zu 50 % der Wärmenetzkosten eingespart werden. Aufgrund der noch nicht definierten Lage möglicher Übergabestationen in den Wohngebäuden und des Standorts einer Heizzentrale können sich die Längen sowie die Dimensionierung des Wärmenetzes noch leicht ändern. Somit sind auch die Kosten des Wärmenetzes noch leicht variabel. Den Hausanschlusskosten wurden sowohl die Kosten für die Übergabestation samt primärseitiger Installation als auch einer Kernbohrung zur Einführung ins Gebäude und den Rohr- und Tiefbaukosten der Hausanschlussleitung zugeordnet. Hier gilt ebenfalls die Möglichkeit Kosten im Tiefbau der Hausanschlüsse einzusparen, wenn eine Verlegung in der Erschließungsphase des Wohngebiets möglich ist.

Tabelle 3: Beschreibung der Kostenstruktur

	Variante "Zentraler Pelletkessel"	Variante "Zentrales BHKW"	Variante "Zentrale & dezentrale WP"	Variante "dezentrale Wärmepumpe"
Wärmenetz	KMR-Stahlrohr inkl. Rohrbau, Tiefbau	KMR-Stahlrohr inkl. Rohrbau, Tiefbau	KMR-Stahlrohr inkl. Rohrbau, Tiefbau	-
Hausanschlüsse	Hausanschluss inkl. Kernbohrung Doymadichtung, Übergabestation	Hausanschluss inkl. Kernbohrung Doymadichtung, Übergabestation	Hausanschluss inkl. Kernbohrung, Doymadichtung,	Anschluss an dezentrale Wärmepumpe
Anlagentechnik	Wärmemengenzähler, Temperaturfühler, Druckhaltung, Pufferspeicher, Leit- und Regeltechnik	Wärmemengenzähler, Temperaturfühler, Druckhaltung, Pufferspeicher, Leit- und Regeltechnik	Wärmemengenzähler, Temperaturfühler, Druckhaltung, Pufferspeicher, Leit- und Regeltechnik	Temperaturfühler, Ausdehnungsgefäß, Pufferspeicher, sonstige Kleinteile
Brennstofflager/Erschließung Wärmequelle	Pelletsilo	-	Zentrale Erdsonden	Dezentrale Erdsonden
Wärmeerzeuger	Pelletkessel, Gaskessel	Mini-BHKW, Gaskessel, L/W Wärmepumpe	zentrale Sole-Wärmepumpe, dezentrale Sole-Wärmepumpen	Sole-Wärmepumpe
Projektierung	Projektierung, Planung & Baubegleitung	Projektierung, Planung & Baubegleitung	Projektierung, Planung & Baubegleitung	Projektierung, Planung

Die Investitionskosten der Wärmeversorgung in der Variante „zentraler Pelletkessel“ belaufen sich auf insgesamt 852.000 €. Die Anlagentechnik beinhaltet einen Pufferspeicher mit 8 m³ Volumen, notwendige Verrohrungen in der Heizzentrale samt Netzpumpen, die Druckhaltung, Leit- und Regeltechnik sowie die Lieferung der Komponenten samt Installation. Die Wärmeerzeuger sind eine Holzpelletanlage mit 230 kW thermischer Erzeugungsleistung sowie ein Gaskessel zur Abdeckung der Spitzenlast und als Redundanz mit 150 kW Leistung.

Die Planungskosten sowie Baubegleitung wurden (wie für alle anderen netzgebundenen Varianten) mit 15 % der Baukosten einberechnet. Bei einer Förderhöhe von 99.000 € für das Wärmenetz sowie die Biomasseanlage liegen die noch zu finanzierenden Investitionskosten bei 753.000 €.

Tabelle 4: Investitionskosten der betrachteten Varianten

	Zentraler Pelletkessel	Zentrales BHKW	Zentrale & dezentrale Wärmepumpe	Dezentrale Wärmepumpe
Wärmenetz	107.000 €	107.000 €	107.000 €	0 €
Hausanschlüsse	309.000 €	309.000 €	309.000 €	77.000 €
Anlagentechnik	120.000 €	155.000 €	112.000 €	31.000 €
Brennstofflager /Erdsonde	16.000 €	0 €	414.000 €	780.000 €
Wärmeerzeuger	189.000 €	170.000 €	423.000 €	330.000 €
Projektierung	111.000 €	111.000 €	205.000 €	61.000 €
SUMME	852.000 €	852.000 €	1.570.000 €	1.279.000 €
abzgl. Förderung	99.000 €	84.000 €	139.000 €	0 €
SUMME inkl. Förderung	753.000 €	768.000 €	1.431.000 €	1.279.000 €

In der Variante „zentrales BHKW“ wurde neben dem BHKW mit 20 kW elektrischer Leistung sowie etwa 45 kW thermischer Leistung, zusätzlich eine L/W Wärmepumpe mit 50 kW thermischer Erzeugungsleistung vorgesehen. Weiter unterstützt an besonders kalten Tagen ein Gaskessel die Grundlastwärmeerzeuger. Somit muss für diese Variante ein Investitionsbeitrag von 852.000 € einkalkuliert werden. Aufgrund der erhöhten Anzahl an Wärmeerzeugern ist die Steuerung aufwändiger, was sich in den Kosten der Anlagentechnik niederschlägt. Nach Abzug der Fördermöglichkeiten liegt die Nettoinvestitionssumme bei 768.000 €.

In der Variante „Zentrale & dezentrale Wärmepumpe“ wurde zur Wärmeerzeugung eine Sole-Wärmepumpe mit bis zu 400 kW thermischer Erzeugungsleistung eingeplant. Diese sorgt für eine Erwärmung des Vorlaufs im Wärmenetz auf bis zu 25 ° C. Dezentrale, in jedem Gebäude platzierte Wärmepumpen im Leistungsbereich von etwa 10 bis 20 kW sorgen für den notwendigen Temperaturhub im Gebäude. Diese Variante verursacht aufgrund der hohen Anzahl an Wärmepumpen mit 1.570.000 € hohe Investitionskosten. Die Fördermöglichkeiten sind aufgrund der großen Investitionen in Wärmeerzeuger mit 139.000 € ebenso hoch. Nach Abzug der Fördermöglichkeiten verbleibt eine Investitionssumme bei 1.431.000 €.

Die letzte Variante beschreibt eine Wärmeversorgung ohne Wärmenetz. Hier sind in jedem Gebäude Wärmepumpen im Größenbereich von 10 kW (Reihen,- sowie Einfamilienhäuser) bzw. 20 kW (Mehrfamilienhäuser) thermischer Leistung vorgesehen. Die Anlagentechnik besteht aus einem Pufferspeicher (800 Liter Fassungsvermögen) sowie Ausdehnungsgefäß in jedem Gebäude. Die Wärmeerzeuger verursachen Kosten von insgesamt 330.000 €. Zusammen mit den Projektierungskosten entstehen Investitionskosten von 1.279.000 €.

5.1.2 Bedarfsgebundene Kosten

Zur Ermittlung der bedarfsgebundenen sowie betriebsgebundenen Kosten werden nachfolgend die Leistungsgrößen, benötigte Wärmemengen sowie eingespeiste Energiemengen dargestellt. Die zugrunde liegenden Nettobrennstoffkosten im Einkauf stellen sich dabei wie folgt dar:

- Pellets: 4,2 Cent/kWh
- Erdgas: 5,42 Cent/kWh
- Strom (Ökostrom): 24,96 Cent/kWh

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die eingesetzten sowie produzierten Energiemengen und Kesselgrößen der jeweiligen Varianten.

Tabelle 5: Energiemengen & Leistungsgrößen nach Optimierung der verschiedenen Varianten

Variante	Zentraler Pelletkessel			
Erzeugungsart	Pelletkessel	Gaskessel		Hilfsstrom
Leistung [kW_th/kW_el]	230/-	150/-		
Brennstoffeinsatz [MWh/a]	1014	46		7
Wärmemenge [MWh_th/a]	862	41		

Variante	Zentrales BHKW			
Erzeugungsart	BHKW	Wärmepumpe	Gaskessel	Hilfsstrom
Leistung [kW_th/kW_el]	45/20	50/-	300/-	
Brennstoffeinsatz [MWh/a]	474	125*	387	7
Energiemenge [MWh_el/a]	125*			
Wärmemenge [MWh_th/a]	278	269	349	

* Strom aus dem BHKW wird der Wärmepumpe zugeführt

Variante	Zentrale & dezentrale Wärmepumpe			
Erzeugungsart	Wärmepumpe, zentral	Wärmepumpe, dezentral		Hilfsstrom
Leistung [kW_th/kW_el]	400/-	44 X 8 kW & 4 x 16 kW		
Brennstoffeinsatz [MWh/a]	145	83		7
Wärmemenge [MWh_th/a]	815			

Variante	Dezentrale Wärmepumpe		
Erzeugungsart	Wärmepumpe		Hilfsstrom
Leistung [kW_th/kW_el]	44 X 10 kW & 4 x 20 kW		
Brennstoffeinsatz [MWh/a]	283		1
Wärmemenge [MWh_th/a]	815		

5.1.3 Betriebsgebundene Kosten

Zusätzlich zu den bedarfsgebundenen Kosten, die sich aus den Brennstoffkosten erschließen, sind noch die Kosten für den Betrieb der Wärmeerzeugungsanlagen (Wartung, Instandhaltung sowie Instandsetzung) sowie des Wärmenetzes in die Vollkostenanalyse einzubeziehen. Der Betrieb des Wärmenetzes samt Wärmeerzeuger erfolgt über eine Betriebsgesellschaft. Diese hat dabei folgende Leistungen zu erbringen:

- Kaufmännische Betriebsführung bestehend aus:
 - 5.400 € pro Jahr für Geschäftsführung
 - 4.800 € pro Jahr für Kundenmanagement
 - 6.000 € pro Jahr für Jahresabschluss
 - 2.300 € pro Jahr für Versicherungen
 - 500 € pro Jahr für sonstiges
- Technische Betriebsführung bestehend aus:
 - Kosten für Wartung, Instandhaltung sowie Instandsetzung der Wärmeerzeuger und des Wärmenetzes. Die Kosten für die Wärmeerzeugungsanlagen anhand vorhandener Abrechnungen bestehender Wärmenetze abgeschätzt und stellen sich wie folgt dar:
 - BHKW: 4 % der Investitionssumme
 - Pelletkessel: 3 % der Investitionssumme
 - Gaskessel: 2 % der Investitionssumme
 - Wärmepumpe: 1,5 % der Investitionssumme
 - Kosten für Wartung, Instandhaltung sowie Instandsetzung des Wärmenetzes in Höhe von 8.000 € pro Jahr
 - 10.000 € für Wärmenetzüberwachung

Bei der Kostenanalyse der betriebsgebundenen Kosten der dezentralen Variante mit Einzelanlagen bei den jeweiligen Kunden wurde eine zweijährliche Servicewartung sowie ein jährlicher Filterwechsel berücksichtigt. Dies verursacht für alle 48 Gebäude jährliche Betriebsführungskosten von etwa 3.000 €.

5.2 Vollkosten

Anhand der Investitionskosten, der jährlichen bedarfsgebundenen Kosten sowie der jährlichen betriebsgebundenen Kosten kann nun die gesamte Kostenstruktur der verschiedenen Varianten wie in Tabelle 8 dargestellt, berechnet werden. Dazu müssen die einmalig anfallenden investitionsbedingten Kosten in jährliche Kosten umgerechnet werden. Dies geschieht über die Berechnung der Annuität, also der jährlichen Zahlung, durch die ein Kredit in Höhe der Investitionssumme während der Darlehenslaufzeit bei einem bestimmten Zinssatz getilgt wird. Für die Berechnung der Annuität der Investitionskosten wurde bei der netzgebundenen Varianten ein Zinssatz von 2,25 % bei einer Laufzeit von 30 Jahren angenommen. Die Höhe des Zinssatzes sowie die Laufzeit des Kredits entspricht marktüblichen Werten, welche für Betreibergesellschaften von Wärmenetzen aufgerufen werden.

Für die Investitionskosten der dezentralen Variante wurden marktüblichen Werten für private Bauherren verwendet. Die Zinshöhe liegt in diesem Fall bei 1,7 % Zins, bei einer Kreditlaufzeit von 20 Jahren.

Tabelle 6: Vollkostenvergleich der verschiedenen Varianten

Aufwendung	Variante "Zentraler Pelletkessel"		Variante "Zentrales BHKW"		Variante "Zentrale & dezentrale WP"		Variante dezentrale Wärmepumpe"	
	Kosten	spez. Kosten	Kosten	spez. Kosten	Kosten	spez. Kosten	Kosten	spez. Kosten
Investitionsaufwendungen	36.000 €	4.5 ct/kWh	35.000 €	4.4 ct/kWh	66.000 €	8.3 ct/kWh	76.000 €	9.6 ct/kWh
Betriebsaufwendungen	38.000 €	4.8 ct/kWh	44.000 €	5.5 ct/kWh	34.000 €	4.3 ct/kWh	3.000 €	0.4 ct/kWh
Bedarfsaufwendungen	47.000 €	5.9 ct/kWh	48.000 €	6.1 ct/kWh	59.000 €	7.4 ct/kWh	71.000 €	9.0 ct/kWh
Erlöse				-0.2 ct/kWh				
Summe	121.000 €	15.2 ct/kWh	127.000 €	15.8 ct/kWh	159.000 €	20.0 ct/kWh	150.000 €	18.9 ct/kWh

5.3 Darstellung der ökologischen Aspekte

Der Primärenergiefaktor errechnet sich nach *AGFW FW 309 Teil 1* mit folgenden Primärenergiefaktoren der Brennstoffe:

- Biomasse: 0,2
- Erdgas: 1,1
- Biomethan: 0,5
- Strom: 1,8
- Verdrängter Strom: 2,8

Anhand dieser Werte ergeben sich für die betrachteten Varianten folgende Primärenergiefaktoren:

	Zentrale Pelletkessel	Zentrales BHKW	Zentrale und dezentrale Wärmepumpen	Dezentrale Wärmepumpen
Primärenergiefaktor (PEF)	0.34	0.77	0.47	0.64

Zusätzlich zu den Primärenergiefaktoren wurde für sämtliche Varianten die eingesparte Menge an CO₂- Äquivalenten errechnet. Die dabei verwendete Berechnung folgt eng der vom LfU dargelegten Berechnungsmethode (https://www.umweltpakt.bayern.de/energie_klima/fachwissen/217/berechnung-co2-emissionen). Die Emissionsfaktoren beinhalten dabei sämtliche Vorketten sowie die benötigte Hilfsenergie.

Die Berechnung der Emissionen einer fossilen Wärmeversorgung hingegen berücksichtigt die theoretisch benötigte Wärmemenge von 793 MWh/a aller Gebäude (ohne Wärmenetze) und einen Emissionsfaktor von 328 g/kWh. Die Differenz zwischen der Emissionsmenge der entsprechenden Variante mit dem fossilen Wärmesystem entspricht schließlich den vermiedenen CO₂- Äquivalent Emissionen. Hier ist zu sehen, dass die Variante „zentraler Pelletkessel“ mit über 246 Tonnen vermiedenen CO₂- Äquivalenten den größten Klimabeitrag leistet.

Tabelle 7: Emission von CO₂- Äquivalenten (Berechnungsmethode nach LfU, 2018)

Variante	Energieträger	Menge	Emissionsfaktor der Energiequelle	CO ₂ -Äquivalent-Emissionen der erneuerbaren Energiequelle	Emissionsfaktor für Fossiler Strom-/Wärme-Mix Deutschland	CO ₂ -Äquivalent-Emissionen für Fossiler Strom-/Wärme-Mix Deutschland	vermiedene CO ₂ -Äquivalent-Emissionen (inkl. Vorkette)
"zentrale Pellet-kessel"	Holzpellets Einzelfeuerung	862178 kWh	0.011 kg/kWh	9.303 kg			
	Gasheizung	45644 kWh	0.247 kg/kWh	11.274 kg	0.328 kg/kWh	267.135 kg	246.558 kg
"zentrales BHKW"	BHKW_el	125093 kWh	0.420 kg/kWh	52.577 kg			
	BHKW_th	278434 kWh	0.196 kg/kWh	54.462 kg			
	Wärmepumpe, L/W WP	276278 kWh	0.208 kg/kWh	57.466 kg*			
	Gaskessel	387289 kWh	0.247 kg/kWh	95.660 kg	0.328 kg/kWh	267.135 kg	64.436 kg
"zentrale & de-zentrale WP"	Wärmepumpen Sole-WP	903213 kWh	0.189 kg/kWh	170.707 kg			
					0.328 kg/kWh	267.135 kg	96.428 kg
"dezentrale WP"	Wärmepumpen Sole-WP	815032 kWh	0.189 kg/kWh	154.041 kg			
					0.328 kg/kWh	267.135 kg	113.094 kg

* Emissionen der Wärmepumpe bleiben unberücksichtigt, da diese Ihren Strombedarf über das BHKW deckt

6. Intelligente Steuerung

6.1 Steuerung von Wärmenetzen

Die Leittechnik, welche beim Betrieb eines Wärmenetzes zur Verwendung kommt dient der Visualisierung der Systemzustände, der Fehlermeldungen, der Ist- und Sollwerte des gesamten Wärmenetzsystems sowie zur Darstellung der Heizhaus- und der Netzregelung. Somit können Abläufe analysiert werden und Optimierungen des Systems durchgeführt werden. Das zu verwendende System erfasst sämtliche Regler der bei den Kunden verbauten Übergabestationen mit Wärmemengenzählern, Netztemperaturen und -drücken. Weiter wird das hydraulische Schema bei jedem einzelnen Wärmeabnehmer visualisiert sowie sämtliche Werte wie Vor- und Rücklauftemperatur, Speichertemperatur, Durchfluss, Schaltzeiten, Ventil- und Schalterstellungen, momentane Leistung, und abgenommenen Wärmemenge aufgenommen. Zu den Wärmeabnehmern können sowohl Wärmeerzeuger und -speicher visualisiert und sämtliche Daten dargestellt werden.

Alle Kunden- und Wärmezählerdaten werden verschlüsselt von den einzelnen Reglern zur Leittechnik übertragen, sodass keine Verbrauchs- oder Kundendaten von Dritten aufgezeichnet oder manipuliert werden können.

Über die Steuerung des Wärmenetzes werden alle relevanten Parameter der Erzeugung, Verteilung, Speicherung und Verbrauchs von Wärme erfasst und gespeichert. Stromseitig werden sowohl die Stromerzeugung als auch deren Verbrauch sowie der netzseitige Strombezug erfasst. Im Detail werden im Wärmenetz und bei den Übergabestationen folgende Parameter aufgezeichnet:

- Leistung
- Vorlauftemperatur der Primärseite
- Rücklauftemperatur der Primärseite
- Vorlauftemperatur der Sekundärseite
- Rücklauftemperatur der Sekundärseite

- Durchfluss (l/h)
- Ventilstellung an der Hausübergabestation
- Außentemperatur an der Wärmesenke
- Betriebszustand der Heizkreispumpe
- Temperatur der Heizkreise
- Außentemperatur
- Netzdruck im Vorlauf
- Netzdruck im Rücklauf
- Druckdifferenz
- Drehzahl der Netzpumpe
- Sollwert der Vorlauftemperatur
- Wärmemenge Netz
- Wärmemenge Speicher
- Stromzähler Pumpe
- Wasserzähler für Nachspeisung
- Betriebszustand des Wärmeerzeugers
- Betriebsstunden des Wärmeerzeugers

6.2 Steuerung dezentraler Wärmeerzeuger

Bei Wärmeversorgungslösungen ohne Wärmenetz kommen andere Formen intelligenter Steuerung zu tragen. Über ein intelligenten Datenlogger kann die Wärmepumpe entsprechend der aktuellen Ertragswerte der Wechselrichter geschaltet werden. Über übliche Datenschnittstellen (z.B. RS485) kann der Datenlogger die momentane Stromproduktion am Wechselrichter auslesen und über ein potentialfreies Relais die Wärmepumpe schalten. Voraussetzung ist hier allerdings, dass die Wärmepumpe über die SG ready Funktion verfügt. Alternativ können manchen Wärmepumpen über ein zwischengeschaltetes „internet service gateway“ angesteuert werden. Über das ISG kann die Wärmepumpe zusätzlich über einen Webbrowser gesteuert und ausgelesen werden.

7. Analyse möglicher Betreibermodelle

Die Stadt Ebersberg plant die Versorgung des neu entstehenden Wohngebiets mit einem erneuerbaren Wärmekonzept. Bei einer Realisierung eines Wärmenetzes bieten sich der Stadt Ebersberg dabei mehrere Möglichkeiten ein Wärmenetz zu betreiben. Die verschiedenen Möglichkeiten lassen sich in öffentlich-rechtliche und in privatwirtschaftliche Rechtsformen unterscheiden. Öffentliche-rechtliche Rechtsformen beinhalten folgende Varianten:

- Eigenbetrieb
- Kommunalbetrieb
- Anstalt des öffentlichen Rechts
- Regiebetrieb

Als privatwirtschaftliche Varianten kommen folgende Optionen in Frage:

- Kommanditgesellschaft
- Gesellschaft mit beschränkter Haftung
- Gesellschaft mit beschränkter Haftung und Co. Kommanditgesellschaft
- Eingetragene Genossenschaft

Die Gesellschaft mit beschränkter Haftung kann sowohl mit als auch ohne Beteiligung der Stadt Ebersberg erfolgen. Generell wird dazu geraten ein für den Betrieb des Wärmenetzes geeignetes Unternehmen zu gründen. Am geeignetsten ist aus unserer Sicht die Entwicklung einer Gesellschaft mit Beteiligung der Kommune für die Wärmeversorgung des Neubaugebietes da dies nach unserer Erfahrung die wirtschaftlichste Variante darstellt. In der Betreibergesellschaft sollte die Stadt mehrheitlicher Anteilseigner sein, während das Privatunternehmen mit einem Minderheitsanteil beteiligt ist. Neben der Sicherheit, die diese Gesellschaft hinsichtlich des Baus und des Betriebs des Netzes bietet, werden damit sowohl die notwendigen Einlagen gesenkt wie auch die Gesamtkosten niedriger gehalten.

Diese Gesellschaft kann ohne jegliche personelle Beteiligung der Stadt aufgestellt werden und die Aufgaben in Bau und Betrieb der Wärmeversorgung übernehmen. Somit fallen für die Stadt lediglich die anteiligen Einlagen zur Gesellschaftsgründung als notwendiges Eigenkapital an (bei 55 % Anteil an der Gesellschaft wären es für die Stadt Einlagen in der

Höhe von 13.750€). Für die Investitionskosten werden Darlehen aufgenommen, die einerseits über Anschlusskosten wie auch Grund- und Arbeitspreis refinanziert werden. Um Vorteile bei den Darlehenskonditionen (Zinssatz und Laufzeit) zu bekommen, ist eine Ausfallbürgschaft der Stadt vorteilhaft. Sämtliche zu erbringenden Leistungen zum Betrieb der Wärmeversorgung sind über die Betreibergesellschaft abbildbar. Dies betrifft

- die kaufmännische Betriebsführung mit Finanzbuchhaltung, Jahresabschlüssen, Steuervoranmeldungen etc.
- das Kundenmanagement einschließlich Abrechnungen, Rechnungsstellung, Mahnwesen etc., sowie die Kundenbetreuung und -beratung über Hotline oder per Mail.
- die technische Betriebsführung an sieben Tagen die Woche, also die Überwachung und die Organisation von Wartungen und Reparaturen am Wärmenetz, den Wärmeerzeugern sowie den Übergabestationen beim Kunden

8. Analyse der Nutzung erneuerbarer Energien

In der Stadt Ebersberg werden derzeit 336 Dachanlagen mit einer gesamten installierten Leistung von 8.465 kW betrieben. Drei Biomasseanlagen liefern derzeit mit einer installierten Leistung von 1.068 kW den zweitgrößten Anteil erneuerbarer Energien in Ebersberg. Weiter ist noch die Energiegewinnung aus Deponiegas zu nennen, welche eine Leistung von 252 kW ausmacht. Bei einem Strombedarf von etwa 47.000 MWh decken die erneuerbaren Energien in der Kommune mit etwa 13.400 MWh theoretisch etwa 29 % des Bedarfs der Kommune. Insgesamt sind auf Stadtgebiet mit 336 PV Anlagen weniger als 12 % aller Dächer mit PV Anlagen belegt. Somit liegt im Bereich der Photovoltaik-Dachanlagen noch großes Potential in der Stadt Ebersberg.

Aufgrund der derzeitigen gesetzlichen Rahmenbedingungen werden PV-Freiflächenanlagen lediglich in benachteiligten Gebieten sowie entlang von Bundesautobahnen und Bahnlinien oder Konversionsflächen vergütet. Eine Flächenanalyse für die Stadtfläche der Stadt Ebersberg ergab mehrere potentielle Flächen entlang der Bahnlinie südlich sowie östlich der Stadt Ebersberg. In die Flächenanalyse wurden Siedlungsflächen, Wald, Schutzgebiete (FFH-Flächen, Naturschutzflächen, Vogelschutzgebiete und Wasserschutzgebiete) sowie Wasserflächen einbezogen. Die Lage der Flächen kann in Abbildung 3 eingesehen werden.

Durch die durchweg hohe Globalstrahlung als auch die große Nähe zu einem Umspannwerk eignen sich besonders die Freiflächen im Süden der Stadt Ebersberg.

Außerhalb der Vergütung nach dem Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG) besteht die Möglichkeit Freiflächenanlagen zur Stromgewinnung aufzustellen, wobei die wirtschaftliche Nutzung dieses Stroms verschiedene Voraussetzungen erfüllen muss, beispielsweise die Gründung einer Gesellschaft im oben genannten Umgriff sowie der langfristigen Vertragsbindung der angeschlossenen Haushalte. Der Eigenbetrieb des Stromnetzes begünstigt den Vertrieb des Stroms.

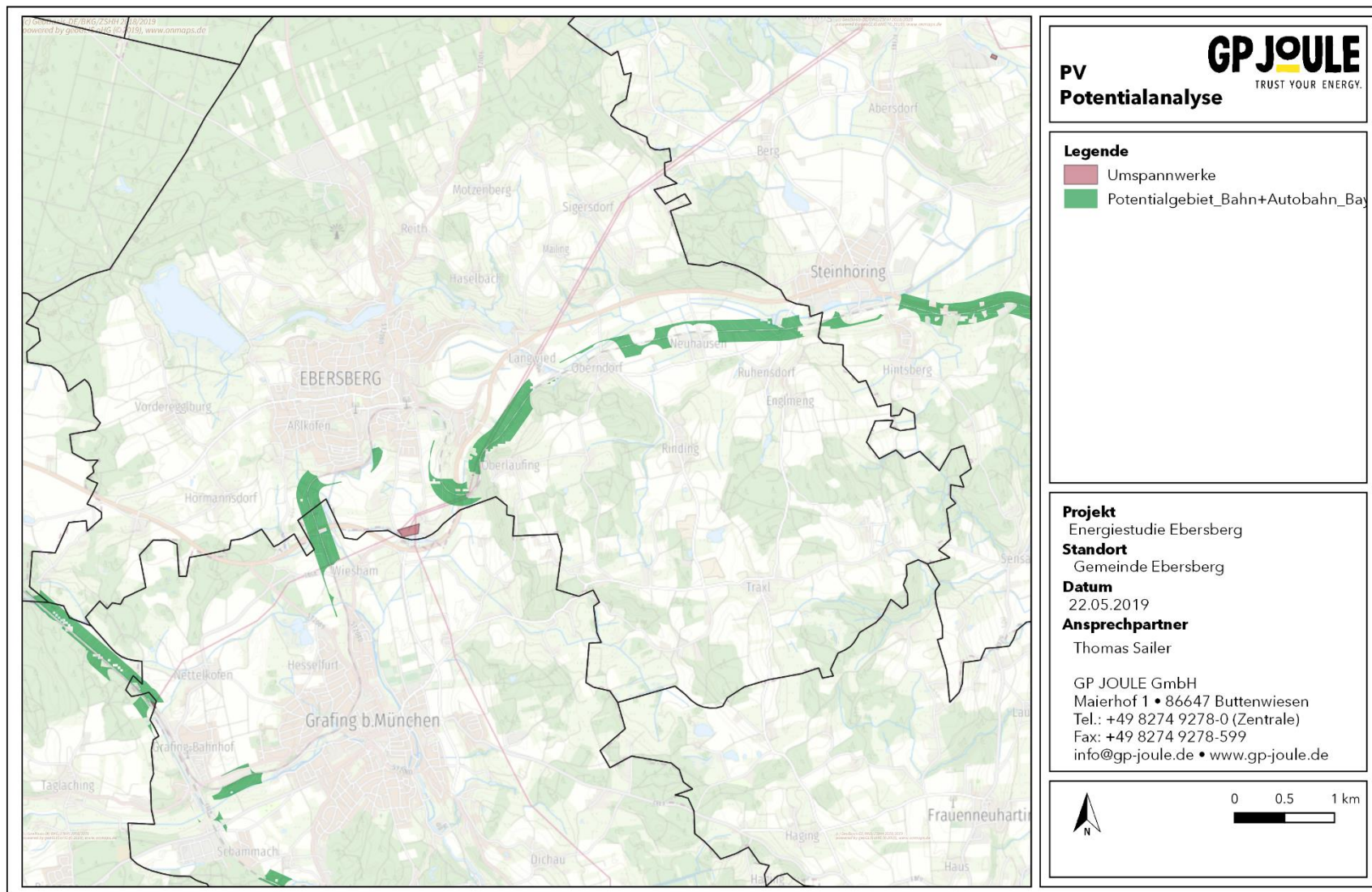


Abbildung 3: Freiflächenpotentialanalyse für die Stadt Ebersberg

9. Bewertung potentieller Erzeuger regenerativen Stroms

Alle Varianten wurden zusätzlich zu den beschriebenen Lösungen zusätzlich mit einer PV-Dachanlage betrachtet. Die Ausrichtung der PV Dachanlage wurde in drei Varianten nach Süden, Norden sowie Westen gewählt. Da eine nach Osten ausgerichtete PV Anlage bei einer Eigenverbrauchsoptimierung den geringsten Nutzen aufweist wurde diese Ausrichtung nicht betrachtet. Die erzielbaren Stromerträge wurden anhand von Ertragssimulationen für den Standort Ebersberg in Stundenauflösung simuliert. Bei einer Dachneigung von 6° bzw. 15° ergaben sich folgende spezifische Stromerträge:

Dachausrichtung	Süden	Norden	Westen
spez. Ertrag bei 6° DN [kWh/kWp]	998	860	944
spez. Ertrag bei 15° DN [kWh/kWp]	1.040	800	927

Folgende Betrachtungen beziehen sich auf ein Dach mit 6° Neigung. Generell gilt jedoch, dass bei einer Dachneigung von 15° wie in Tabelle 11 dargestellt höhere Stromerträge für nach Süden geneigte Dächer erzielbar sind. Nach Westen sowie Norden geneigte Dächer erzielen wiederum bei niedrigerer Dachneigung höhere Erträge.

Bei einer Installation von 10 kWp ist somit bei einer nach Süden ausgerichteten PV Anlage auf einem Dach mit 6° Neigung eine Stromproduktion von 9.980 kWh im Jahr, 8.600 kWh bei einer nordwärts gerichteten Anlage sowie 9.440 kWh im Jahr bei einer westwärts gerichteten Dach im 20 jährigen Mittel zu erwarten.

Zum Vergleich der gesamten jährlichen Kosten für Wärme und Strom für ein Reihenhaus der Parzelle 6 wurden für die netzgebundenen Varianten die Kosten anhand des Wärmebedarfs und der spezifischen Vollkosten auf ein einzelnes Reihenhaus hochgerechnet. Diese Vollkosten stellen nur Richtwerte dar, da die finalen Wärmepreise (Grundpreis, Arbeitspreis, Hausanschlusskostenpauschale, etc.) für ein solches Reihenhaus noch von den spezifischen Vollkosten abweichen können.

Die Investitionskosten für die Wärmeversorgung eines Reihenhauses gemäß Variante „dezentrale Wärmepumpe“ berechnen sich auf Grundlage eines Kredits mit 20 Jahren Laufzeit

sowie 1,7% Zinssatz. Die Betriebskosten beschränken sich auf die zweijährliche Servicewartung durch einen Heizungsbauer oder Kältetechniker, sowie den jährlichen Filterwechsel. Der Wärmebedarf des Gebäudes wird im Fall der dezentralen Variante zu 75 % aus dem öffentlichen Stromnetz, sowie zu 25 % durch Strom aus der PV Dachanlage gedeckt.

Bei den Kosten des Haushaltsstroms wurde für alle Varianten die Investitionskosten der PV Anlage mit einer Größe von 10 kWp mittels einer Finanzierung über einen Kredit mit 1,7 % Zins sowie 20 Jahren Laufzeit berechnet. Die Betriebsaufwendungen beschränken sich auf den Abschluss einer Versicherung.

Die bedarfsgebundenen Kosten des Haushaltsstroms (also der Strombezug aus dem öffentlichen Netz) belaufen sich auf 3.500 kWh im Jahr abzüglich 700 kWh im Jahr, welche über die PV Dachanlage gedeckt werden. Die Erlöse aus der Einspeisung ergeben sich aus der produzierten Energiemenge abzüglich 700 kWh im Jahr sowie für die dezentrale Variante abzüglich 25 % des Strombedarfs der Wärmepumpe (dies entspricht etwa 1.800 kWh Strom). Nachfolgend sind nun die Ergebnisse für die verschiedenen Varianten der Wärmeversorgung sowie Dachneigung dargestellt.

Von den verschiedenen Dachausrichtungen zeigt sich, dass die Dachneigung nach Süden die geringsten Vollkosten verursacht. Die Vollkosten des Reihenhauses mit einer nach Süden geneigten PV Dachanlage belaufen sich für die Variante mit einem Wärmenetzanschluss mit Pelletheizung auf 3.570 € im Jahr, für die Wärmeversorgung über ein Wärmenetz mit BHKW auf 3.680 € im Jahr und für die Variante mit dezentralen sowie einer zentralen Wärmepumpe auf 4.450 €. Die Variante mit Einzelversorgung mittels Wärmepumpe verursacht Vollkosten von 3.870 € im Jahr. Die Brennstoffkosten sinken durch die teilweise Versorgung durch die PV Anlage von 1.825 € im Jahr ($24,96 \text{ Cent/kWh} \times 7.313 \text{ kWh Gesamtstrombedarf der Wärmepumpe}$) auf 1.170 € im Jahr.

Tabelle 8: Vollkostenindikation mit Berücksichtigung einer PV Dachanlage mit Südausrichtung bei 6° Dachneigung

	Variante "Zentraler Pelletkessel"	Variante "Zentrales BHKW"	Variante "Zentrale & dezentrale WP"	Variante "dezentrale Wärmepumpe"
Wärme	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr
Investitionsaufwendungen				1.490 €
Betriebsaufwendungen				250 €
Bedarfsaufwendungen				1170 €
Summe Wärme	2.760 €	2.870 €	3.640 €	2.910 €
Haushaltsstrom				
Investitionsaufwendungen	890 €	890 €	890 €	890 €
Betriebsaufwendungen	60 €	60 €	60 €	60 €
Stromeinkauf	790 €	790 €	790 €	790 €
Erlöse aus Einspeisung	-930 €	-930 €	-930 €	-780 €
Summe Haushaltsstrom	810 €	810 €	810 €	960 €
Gesamtausgaben für Wärme und Strom inkl. PV	3.570 €	3.680 €	4.450 €	3.870 €
<i>Gesamtausgaben für Wärme und Strom ohne PV</i>	<i>3720 € (2760 € für Wärme+ 960 € für Strom)</i>	<i>3830 € (2870 € für Wärme+ 960 € für Strom)</i>	<i>4600 € (3640 € für Wärme+ 960 € für Strom)</i>	<i>4270 € (3310 € für Wärme+ 960 € für Strom)</i>

Tabelle 9: Vollkostenindikation mit Berücksichtigung einer PV Dachanlage mit Nordausrichtung bei 6° Dachneigung

Wärme	Variante "Zentraler Pelletkessel"	Variante "Zentrales BHKW"	Variante "Zentrale & dezentrale WP"	Variante "dezentrale Wärmepumpe"
	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr
Investitionsaufwendungen				1.490 €
Betriebsaufwendungen				250 €
Bedarfsaufwendungen				1170 €
Summe Wärme	2.760 €	2.870 €	3.990 €	2.910 €
Haushaltstrom				
Investitionsaufwendungen	890 €	890 €	890 €	890 €
Betriebsaufwendungen	60 €	60 €	60 €	60 €
Stromeinkauf	840 €	840 €	840 €	840 €
Erlöse aus Einspeisung	-790 €	-790 €	-790 €	-640 €
Summe Haushaltsstrom	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.150 €
Gesamtausgaben für Wärme und Strom inkl. PV	3.760 €	3.870 €	4.990 €	4.060 €
<i>Gesamtausgaben für Wärme und Strom ohne PV</i>	<i>3720 € (2760 € für Wärme+ 960 € für Strom)</i>	<i>3830 € (2870 € für Wärme+ 960 € für Strom)</i>	<i>4950 € (3990 € für Wärme+ 960 € für Strom)</i>	<i>4270 € (3310 € für Wärme+ 960 € für Strom)</i>

Tabelle 10: Vollkostenindikation mit Berücksichtigung einer PV Dachanlage mit Westausrichtung bei 6° Dachneigung

Wärme	Variante "Zentraler Pelletkessel"	Variante "Zentrales BHKW"	Variante "Zentrale & dezentrale WP"	Variante "dezentrale Wärmepumpe"
	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr
Investitionsaufwendungen				1.490 €
Betriebsaufwendungen				250 €
Bedarfsaufwendungen				1170 €
Summe Wärme	2.760 €	2.870 €	3.990 €	2.910 €
Haushaltstrom				
Investitionsaufwendungen	890 €	890 €	890 €	890 €
Betriebsaufwendungen	60 €	60 €	60 €	60 €
Stromeinkauf	840 €	840 €	840 €	840 €
Erlöse aus Einspeisung	-870 €	-870 €	-870 €	-720 €
Summe Haushaltsstrom	920 €	920 €	920 €	1.070 €
Gesamtausgaben für Wärme und Strom inkl. PV	3.680 €	3.790 €	4.910 €	3.980 €
Gesamtausgaben für Wärme und Strom ohne PV	3720 € (2760 € für Wärme+ 960 € für Strom)	3830 € (2870 € für Wärme+ 960 € für Strom)	4950 € (3990 € für Wärme+ 960 € für Strom)	4270 € (3310 € für Wärme+ 960 € für Strom)

Tabelle 11: Vollkostenindikation mit Berücksichtigung einer PV Dachanlage mit Südausrichtung bei 15° Dachneigung

Wärme	Variante "Zentraler Pelletkessel"	Variante "Zentrales BHKW"	Variante "Zentrale & dezentrale WP"	Variante "dezentrale Wärmepumpe"
	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr
Investitionsaufwendungen				1.490 €
Betriebsaufwendungen				250 €
Bedarfsaufwendungen				1170 €
Summe Wärme	2.760 €	2.870 €	3.640 €	2.910 €
Haushaltstrom				
Investitionsaufwendungen	890 €	890 €	890 €	890 €
Betriebsaufwendungen	60 €	60 €	60 €	60 €
Stromeinkauf	790 €	790 €	790 €	790 €
Erlöse aus Einspeisung	-970 €	-970 €	-970 €	-820 €
Summe Haushaltsstrom	770 €	770 €	770 €	920 €
Gesamtausgaben für Wärme und Strom inkl. PV	3.530 €	3.640 €	4.410 €	3.830 €
Gesamtausgaben für Wärme und Strom ohne PV	3720 € (2760 € für Wärme+ 960 € für Strom)	3830 € (2870 € für Wärme+ 960 € für Strom)	4600 € (3640 € für Wärme+ 960 € für Strom)	4270 € (3310 € für Wärme+ 960 € für Strom)

Tabelle 12: Vollkostenindikation mit Berücksichtigung einer PV Dachanlage mit Nordausrichtung bei 15° Dachneigung

	Variante "Zentraler Pelletkessel"	Variante "Zentrales BHKW"	Variante "Zentrale & dezentrale WP"	Variante "dezentrale Wärmepumpe"
Wärme	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr
Investitionsaufwendungen				1.490 €
Betriebsaufwendungen				250 €
Bedarfsaufwendungen				1170 €
Summe Wärme	2.760 €	2.870 €	3.990 €	2.910 €
Haushaltsstrom				
Investitionsaufwendungen	890 €	890 €	890 €	890 €
Betriebsaufwendungen	60 €	60 €	60 €	60 €
Stromeinkauf	840 €	840 €	840 €	840 €
Erlöse aus Einspeisung	-730 €	-730 €	-730 €	-580 €
Summe Haushaltsstrom	1.060 €	1.060 €	1.060 €	1.210 €
Gesamtausgaben für Wärme und Strom inkl. PV	3.820 €	3.930 €	5.050 €	4.120 €
Gesamtausgaben für Wärme und Strom ohne PV	3720 € (2760 € für Wärme+ 960 € für Strom)	3830 € (2870 € für Wärme+ 960 € für Strom)	4950 € (3990 € für Wärme+ 960 € für Strom)	4270 € (3310 € für Wärme+ 960 € für Strom)

Tabelle 13: Vollkostenindikation mit Berücksichtigung einer PV Dachanlage mit Westausrichtung bei 15° Dachneigung

	Variante "Zentraler Pelletkessel"	Variante "Zentrales BHKW"	Variante "Zentrale & dezentrale WP"	Variante "dezentrale Wärmepumpe"
Wärme	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr	Aufwendungen pro Gebäude & Jahr
Investitionsaufwendungen				1.490 €
Betriebsaufwendungen				250 €
Bedarfsaufwendungen				1170 €
Summe Wärme	2.760 €	2.870 €	3.990 €	2.910 €
Haushaltstrom				
Investitionsaufwendungen	890 €	890 €	890 €	890 €
Betriebsaufwendungen	60 €	60 €	60 €	60 €
Stromeinkauf	840 €	840 €	840 €	840 €
Erlöse aus Einspeisung	-860 €	-860 €	-860 €	-710 €
Summe Haushaltsstrom	930 €	930 €	930 €	1.080 €
Gesamtausgaben für Wärme und Strom inkl. PV	3.690 €	3.800 €	4.920 €	3.990 €
Gesamtausgaben für Wärme und Strom ohne PV	3720 € (2760 € für Wärme+ 960 € für Strom)	3830 € (2870 € für Wärme+ 960 € für Strom)	4950 € (3990 € für Wärme+ 960 € für Strom)	4270 € (3310 € für Wärme+ 960 € für Strom)

10. Einfluss der Wärmeversorgung auf die baulichen Anforderungen

Bei Betrachtung des in Kapitel 9 erstellten Vollkostenvergleichs ergibt sich ein monetärer Vorteil der nach Süden geneigten Dachfläche im Vergleich zu einer nach Norden geneigten Dachfläche von etwa 110 € im Jahr. Zugleich kann durch eine Ausrichtung des Dachs nach Süden die Einspeisung im Vergleich zu einem nach Norden geneigten Dach von 7.867 kWh im Jahr auf 9.285 kWh im Jahr gesteigert werden. Die eingespeiste Mehrmenge von 1.388 kWh im Jahr entspricht somit etwa 697 kg CO₂-Äquivalente im Jahr, welche vermieden werden könnten. Zu beachten gilt hier, dass die betrachtete Dachneigung dem Bebauungsplan entnommene Größe von 6° Neigung entspricht. Bei höheren Dachneigungen sind hier für nach Süden geneigte Dächer noch wesentlich höhere Erträge von bis zu 1.100 kWh/kWp erzielbar. Andererseits sinkt für nach Norden, Osten oder Westen geneigte Dachflächen der erzielbare spezifische Ertrag bei höherer Dachneigung.

Aufgrund der niedrigen Primärenergiefaktoren sind im Hinblick auf den Primärenergiebedarf keine gesonderten Anforderungen an die Gebäudehülle im Wohngebiet zu empfehlen. Insbesondere mit einer netzgebundenen Wärmeversorgung auf Basis von Pellets können voraussichtlich sowohl der KfW 55 Standard als auch der KfW 40 Standard eingehalten werden können.

11. Empfehlung nach ökologischer sowie ökonomischer Sicht

Die Bewertung der Varianten nach ökonomischen als auch ökologischen Gesichtspunkten hat ergeben, dass eine netzgebundene Variante mit einem zentralen Pelletkessel und einem Gaskessel zur Abdeckung der Spitzenlast die größten Vorteile bietet. Sowohl die Vollkosten ohne als auch mit Berücksichtigung einer Photovoltaikanlage sind für diese Variante am geringsten. Zu berücksichtigen gilt weiterhin, dass bei einer Wärmeversorgung über ein Wärmenetz zum Grundlastkessel zusätzlich ein weiter redundanter Kessel für die Spitzenlast

zur Verfügung steht. Somit kann für den Kunden jederzeit die Versorgungssicherheit gewährleistet werden. Weiter bietet diese Variante mit etwa 247 Tonnen das größte Vermeidungspotential an CO₂-Äquivalenten.

Die kommunale Verantwortung für den Klimaschutz wird insbesondere durch ein Betreibermodell als Gemeindewerke deutlich. Die Entscheidungshoheit in der Betreibergesellschaft würde mit einer mehrheitlichen Beteiligung voll bei der Stadt liegen. Die Einlage der Stadt jedoch würde sich entsprechend reduzieren. Investitionen, welche durch Baumaßnahmen und Anlagentechnik notwendig sind, würden dabei mithilfe zinsgünstiger Darlehen sowie attraktiver Fördermöglichkeiten finanziert. Die resultierenden monatlichen Raten können aus den Einnahmen des Wärmeverkaufs bedient werden. Die Stadt Ebersberg hätte mit diesem Modell die Entscheidungshoheit bei elementaren Fragen der Energieversorgung im Wohngebiet und die Chance zur aktiven Mitgestaltung der Versorgung.

Sofern sich die Stadt dennoch für dezentrale Lösungen entscheiden sollte, ist hier auf eine ausreichende Dachneigung zwischen 20° und 30° mit einer Ausrichtung mindestens einer Dachhälfte nach Süden oder Westen zu achten. Somit wäre ein größtmöglicher Anteil an Strom aus PV Dachanlagen für strombetriebene Wärmeversorgungslösungen realisierbar.

