



Stadt Preetz

**Fachbereich Bauen und Umwelt
-Klimaschutzmanagement-**

Nahwärmenetz und Energieversorgung
für Lohmühlenweg und Umgebung

Umsetzungsuntersuchung

Projektnr.: 3.003.223

Abgabedatum: 22.09.2022

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung/Vorhabensbeschreibung	5
2	Bedarfsermittlung	5
2.1	Leistungsbedarf	6
2.2	Wärmebedarf	6
2.2.1	Friedrich-Ebert-Schule	6
2.2.2	Berufs-Bildungs-Zentrum (BBZ)	7
2.2.3	Schule am Kührener Berg	8
2.3	Potentielle Erweiterung des Nahwärmenetzes	9
3	Standortanalyse und Untersuchung Leitungsverlauf	10
3.1	Nahwärmenetz	10
3.2	Dimensionierung Nahwärmeleitungen	12
3.3	Kostenannahme	13
4	Wärmerzeugung	15
4.1	Solarthermie	15
4.2	Wärmepumpe	16
4.3	Biomasse	16
4.4	BHKW	17
4.5	Power-to-Heat	18
5	Konzeptanalyse / Projektschritte	19
5.1	Schritt A - Erneuerung des Lohmühlenweges	19
5.1.1	Beschreibung der Situation	20
5.1.2	Ausführungsvorschlag	20
5.1.3	Hausanschlüsse	22
5.2	Schritt B – Sanierung Wärmeerzeugung Friedrich-Ebert-Schule	24
5.2.1	Erfüllung der GEG Nachweise Kita und Mensa	24
5.2.2	Variante 1: Nachrüsten von Hauswärmepumpen	24



5.2.3	Variante 2: Modernisierung der Energieerzeuger	25
5.2.4	Kostenvergleich	27
5.3	Schritt C - Umsetzung des gesamten Wärmenetzes	28
5.3.1	Vollkostenvergleich nach VDI 2067	28
5.3.2	Kapitalgebundene Jahreskosten	31
5.3.3	Betriebsgebundene Jahreskosten	33
5.3.4	Verbrauchsgebundene Jahreskosten	34
5.3.5	Auswertung	37
5.4	CO ₂ -Bilanz	40
5.5	Betreibermodelle:	42
6	Zusammenfassung	43

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Lastganglinie BBZ Plön	8
Abbildung 3-1: Arten von Wärmenetzen	11
Abbildung 3-2: Übersicht Nahwärmenetz	13
Abbildung 5-1: Leitungsverlauf Lohmühlenweg	19
Abbildung 5-2: Beispiel Wärmepumpe mit ca. 250 kW	26
Abbildung 5-3: PVGIS-5 Schätzung der Solarstromerzeugung	29
Abbildung 5-4: Energieertrag pro Monat von PV-Anlage mit fester Neigung	30
Abbildung 5-5: Luftbild Standort Friedrich-Ebert-Schule	31
Abbildung 5-6: Vergleich Summenwerte der Jahreskosten von Variante 1 und 2	38
Abbildung 5-7: Vergleich Kostenentwicklung Variante 1 und 2	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Übersicht Leistungsbedarf	6
Tabelle 2-2: Übersicht Wärmebedarf	6
Tabelle 2-3: Abschätzung Heizleistungsbedarf privater Haushalte	9
Tabelle 3-1: Komponenten Nahwärmenetz	12
Tabelle 3-2: Kostenannahme Quartier Lohmühlenweg	14
Tabelle 5-1: Kosten vorgezogene Verlegung Wärmeleitungen	23
Tabelle 5-2: Kapitalgebundene Jahreskosten	32
Tabelle 5-3: Berechnung der Annuität	33
Tabelle 5-4: Betriebsgebundene Jahreskosten	34
Tabelle 5-5: Verbrauchsgebundene Jahreskosten	35
Tabelle 5-6: Übersicht der Jahreskosten Variante 1	37
Tabelle 5-7: Übersicht der Jahreskosten Variante 2	37
Tabelle 5-8: Zusammenfassung Jahreskosten Variante 1 und 2	38

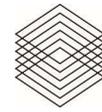


Tabelle 5-9: Zusammenfassung Jahreskosten	39
Tabelle 5-10: CO ₂ -Emissionen Variante 1	40
Tabelle 5-11: CO ₂ -Emissionen Variante 2	41
Tabelle 5-12: CO ₂ -Emissionen Erdgaskessel	42

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Lageplan Sanierung Regenwasserkanal Lohmühlenweg

1 Einleitung/Vorhabensbeschreibung

Die Stadt Preetz verfolgt im Rahmen ihres Klimaschutzkonzeptes eine nachhaltige Wärmeversorgung. Hierfür wird in verschiedenen Quartieren der Stadt bereits an der Realisierung einer dezentralen Energieversorgung mit Nahwärmenetz gearbeitet. Das Planungsbüro BIM2B Ingenieurgesellschaft mbH wurde damit beauftragt, ein Konzept für ein Nahwärmenetz in dem Quartier Lohmühlenweg zu erarbeiten. In diesem Zusammenhang soll die Wärmeversorgung der angrenzenden öffentlichen Liegenschaften untersucht werden und verschiedene Varianten zur dezentralen Energieerzeugung erörtert werden. Ziel des Konzeptes ist eine energetische Sanierung unter Nutzung regenerativer Energien.

In dem Konzept sollen aufgrund der anstehenden Arbeiten zur Sanierung des Abwasserkanals mögliche Synergieeffekte bei Umsetzung der beiden Maßnahmen bewertet werden. Dazu soll geklärt werden, ob bereits im Zuge des Straßenausbaus ein Nahwärmesystem für die angrenzenden Liegenschaften und Wohnhäuser geschaffen werden kann. Hierbei werden auch mögliche Standorte für die Errichtung einer Energiezentrale und entsprechende Trassenführungen für das Nahwärmenetz untersucht.

2 Bedarfsermittlung

Grundlage für die Planung eines Nahwärmenetzes mit zentraler Energieversorgung ist die Ermittlung des Wärmebedarfes und die benötigte Heizleistung für die Versorgung der Liegenschaften. Der erforderliche Wärmebedarf hat eine zentrale Bedeutung für die Wärmeerzeugungsmodule, das aufzubauende Netz und die Nutzung bzw. Erweiterung der Bestandsanlagen. Hierfür wurden in einem ersten Schritt die zu versorgenden Gebäude festgelegt und entsprechende Verbrauchs- und Leistungsdaten zusammengetragen. Die Grenzen des zu betrachtenden Quartiers Lohmühlenweg sind in Abbildung 3-2 dargestellt. Es umfasst die öffentlichen Liegenschaften Friedrich-Ebert-Schule, Kita „Rasselbande“, Sportzentrum „Kita kleine bunte Kiste“, Berufsbildungszentrum (BBZ), Schule am Kührener Berg. Zusätzlich gibt es die Überlegung, auch private Haushalte über das Nahwärmenetz zu versorgen.

2.1 Leistungsbedarf

Der Leistungsbedarf der Liegenschaften wurde anhand von Typenschildern an den installierten Wärmerezeugern zusammengetragen. Für die Auslegung einer neuen zentralen Energieversorgung wurde der Leistungsbedarf anhand von Lastgangkurven oder Referenzwerten abgeschätzt. Die Werte sind in der Tabelle 2-1 zusammengefasst. Die Angaben für die Neubauten der Kita Rasselbande und der Mensa wurden über Bedarfsberechnungen im Zusammenhang mit den Energienachweisen ermittelt.

	geschätzt	installiert	Wärmerezeuger	VL/RL Temp.
Berufsbildungszentrum (BBZ)	250 kW	300 kW	Gasbrennwertkessel	60/40
Schule an Kührener Berg	350 kW	332 kW	Gasheizkessel	65/45
Kita Kleine Bunte Kiste (Bestand) + Sportzentrum	20 kW	20 kW	Ölkessel	?
Friedrich-Ebert-Schule (inkl. Turnhalle, Hausmeisterpavillon)	405 kW	853 kW	Gasbrennwertkessel	?
Kita Rasselbande (Werte aus Energetischer Berechnung)	67 kW	über F.-E.-Schule	-	45/35
Mensa (Werte aus Energetischer Berechnung)	48 kW	über F.-E.-Schule	-	45/35
Summe	1.120 kW	1.485 kW		

Tabelle 2-1: Übersicht Leistungsbedarf

2.2 Wärmebedarf

Der Wärmebedarf der Liegenschaften wurde anhand von vorliegenden Brennstoffabrechnungen zusammengetragen und in der Tabelle 2-2 zusammengestellt. Die Angaben für die Neubauten der Kita Rasselbande und der Mensa wurden über Bedarfsberechnungen ermittelt. Daraus ergibt sich ein Erdgasbedarf von 1.738.060 kWh/a.

	2018	2019	2020	2021
Berufsbildungszentrum (BBZ)	325.779 kWh	363.002 kWh		
Schule an Kührener Berg		687.686 kWh		
Kita Kleine Bunte Kiste (Bestand) + Sportzentrum		83.730 kWh		
Friedrich-Ebert-Schule (inkl. Turnhalle, Kita "Rasselbande", Mensa)	380.925 kWh	418.118 kWh	478.297 kWh	603.642 kWh
Kita Rasselbande (aktuell)	-	über F.-E.-Schule	über F.-E.-Schule	über F.-E.-Schule
Mensa (aktuell)	-	über F.-E.-Schule	über F.-E.-Schule	über F.-E.-Schule

Tabelle 2-2: Übersicht Wärmebedarf

2.2.1 Friedrich-Ebert-Schule

In der Friedrich-Ebert-Schule ist ein Gasbrennwertkessel mit 364 kW (BJ 2009) und ein Gasniedertemperaturkessel mit 489 kW (BJ 1987) installiert. Der kleine Kessel ist stets in Betrieb. Der zweite nur, wenn die Außentemperatur unter 5°C fällt. Lastgänge für die Friedrich-Ebert-Schule liegen nicht vor. In einer Referenzmessung wurde an einem kalten Wintertag durch den Hausmeister der Erdgasverbrauch ermittelt. Daraus ergibt sich für den gemessenen Zeitraum von 56 s ein Gasverbrauch von 1 m³. Mit dem Heizwert 11,2 kWh/m³ ergibt sich daraus eine kurzzeitige Spitzenleistung von 720 kW. Dieser

Wert bildet jedoch nur einen sehr kurzen Zeitraum ab und dürfte im Stundenmittel etwas niedriger ausfallen. Außerdem ist bei einer solch kurzen Messdauer die Messunsicherheit relativ hoch. Beim Vergleich des Jahresverbrauches mit der installierten Leistung in den verschiedenen Schulen zeigt sich, dass die Leistung sehr groß ausfällt. Entsprechend wird für die Friedrich-Ebert-Schule ein reduzierter Leistungsbedarf von 405 kW angenommen.

Die Wärmeverteilung ist über fünf Heizkreise realisiert. Diese sind: Schulgebäude, Stadion, Hausmeisterwohnung, Umkleide und Sozialräume, Turnhalle. Informationen zu den einzelnen Heizkreisen liegen nicht vor. Zusätzlich werden aktuell durch die beiden Gaskessel auch die Neubauten der Kita „Rasselbande“ sowie der Mensa mitversorgt. Diese beiden Gebäude haben einen zusätzlichen Leistungsbedarf von 67 kW bzw. 48 kW. Entsprechend liegt der Gesamtleistungsbedarf für die Energieversorgung der Friedrich-Ebert-Schule bei 510 kW. In diesem Leistungsbedarf ist die Warmwasserbereitung über zwei Gasboiler mit integriertem 120 l Speicher für die Duschen der Sporthalle bereits enthalten.

Der deutlich ansteigende Energieverbrauch in den Jahren 2020 und 2021 kann mit der Anbindung der Neubauten der Kita und der Mensa begründet werden. Laut den Berechnungen aus den Energienachweisen haben beide Neubauten einen Energiebedarf von etwa 100.000 kWh/a. Diese Werte entsprechen in etwa dem Anstieg von ca. 418.000 kWh im Jahr 2019 auf 603.000 kWh im Jahr 2021 (s.Tabelle 2-12.2.)

2.2.2 Berufs-Bildungs-Zentrum (BBZ)

Das BBZ Plön ist derzeit mit drei Gas-Brennwert-Thermen mit jeweils 100 kW ausgestattet. Der Energiebedarf lag im Jahr 2019 bei 363.000 kWh. Im Rahmen früherer Untersuchungen zu Standardlastprofilen und dem Jahresverbrauch wurde folgende sortierte Jahreslastganglinie ermittelt:

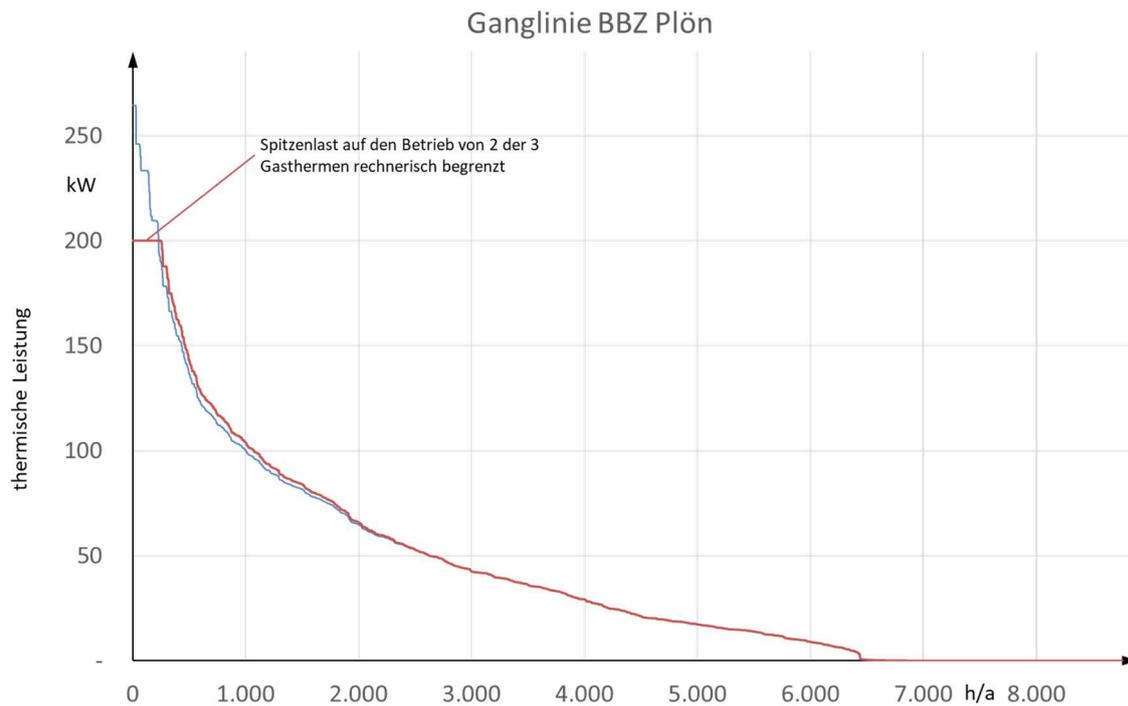


Abbildung 2-1: Lastganglinie BBZ Plön

Demnach ist eine Spitzenlast von 280 kW zu erwarten. Diese Auslegung stimmt mit der Leistung der Bestandskessel überein. Die VL/RL-Temperaturen liegen bei 60°C/40°C und sind im Jahresverlauf sehr gut für ein niedrig temperiertes Nahwärmenetz geeignet. In dem Gebäude sind auf Abnehmerseite keine größeren Änderungen zu erwarten. Vor dem Hintergrund, dass die vorhandenen Gas-Thermen zukünftig für eine Abdeckung der Spitzenlast zu Verfügung stehen, reicht eine Übergabestation mit 200 kW aus.

2.2.3 Schule am Kührener Berg

In der Schule am Kührener Berg sind zwei Erdgaskessel mit thermischen Leistungen mit je 166 kW installiert. Aus den vorhandenen Verbrauchsangaben für die Jahre 2014 bis 2016 wurde ein mittlerer Energiebedarf von 690 MWh/a bestimmt. Die Vorlauftemperatur liegt bei ca. 65°C. Es ist zu berücksichtigen, dass in dem Schulgebäude ein Schwimmbad integriert ist. Dies hat maßgebliche Auswirkungen auf den Jahreslastgang.

2.3 Potentielle Erweiterung des Nahwärmenetzes

Zusätzlich zu den öffentlichen Liegenschaften besteht der Gedanke, die umliegenden Wohnhäuser ebenfalls mit Nahwärme zu versorgen. Eine überschlägige Zusammenstellung des theoretischen Wärmebedarfes der Gebäude entlang des Lohmühlenweges ist anhand von Referenzwerten in Tabelle 2-3 dargestellt.

	Leistungsbedarf [kW]	Anzahl [Stück]	Summe [kW]
Einfamilienhäuser	15	50	750
Mehrfamilienhäuser	60	4	240
Summe			990
Verdichtungsfaktor		0,35	346,5

Tabelle 2-3: Abschätzung Heizleistungsbedarf privater Haushalte

Für den Leistungsbedarf von Einfamilienhäusern wurde ein Leistungsbedarf von 15 kW angenommen und für die Mehrfamilienhäuser ein Leistungsbedarf von 10 kW pro Wohneinheit bei 6 Parteien pro Mehrfamilienhaus. Die tatsächliche Gesamtwärmeabnahme ist zum einen von den technischen Anschlussmöglichkeiten und vor allem von der Bereitschaft der Hauseigentümer abhängig. Vor allem bei den größeren Wohnblocks kann die Umstellung auf Nahwärme interessant sein, wenn dort bereits ein zentrales Heizsystem verbaut ist. Für die rechnerische Bedarfsermittlung wird der Verdichtungsfaktor von 0,35 angenommen. Dieser Faktor beschreibt den prozentualen Anteil der angeschlossenen Wärmeabnehmer in dem Quartier.

Für eine detaillierte Bewertung zur Anbindung der Liegenschaften werden genaue Informationen zur installierten Heizungstechnik benötigt. Für eine genaue Abschätzung des Abnahmepotentials ist es sinnvoll, in einer örtlichen Umfrage die Bereitschaft der Anwohner zum Thema Nahwärme abzufragen. Daher wird in dieser Untersuchung zunächst nur das theoretische Potential betrachtet.

Für die weiteren Untersuchungen wird von einem Heizleistungsbedarf von ca. 1.500 kW für das gesamte Quartier ausgegangen.

3 Standortanalyse und Untersuchung Leitungsverlauf

Der Standort für eine neue Energiezentrale sollte möglichst dicht an einem der größten Wärmeabnehmer liegen, damit die Wärmeverluste in dem Nahwärmenetz gering gehalten werden. Entsprechend der in Tabelle 2-1 zusammengefassten Werte benötigt die Friedrich-Ebert-Schule die höchste installierte Leistung. Daher bietet sich ein Standort auf dem Gelände der Schule an. Ein möglicher Standort wurde in der Abbildung 3-2 eingetragen. Bei der weiteren Planung der Energiezentrale muss besonders der Aspekt der Zufahrt entsprechend der lokalen Gegebenheiten geprüft werden. Besonders bei transportaufwendigen Brennstoffen wie Holzpellets und Holzhackschnitzeln ist der regelmäßige LKW-Verkehr zu beachten. Sinnvoll ist es, die Belieferung entlang des Sportplatzes zu realisieren, damit der Verkehr möglichst von der Schule ferngehalten wird. Ein alternativer Standort ist im Moment nicht bekannt und muss mit der Stadt Preetz abgestimmt werden.

3.1 Nahwärmenetz

Das Nahwärmenetz muss basierend auf den Straßenverläufen und den Abnehmern im Quartier hydraulisch optimal geplant werden. Der Leitungsverlauf bzw. die Leitungsdimensionierung richtet sich nach dem Standort der Energiezentrale und den größten Verbrauchern. Für die nachfolgenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass die Nahwärmeleitungen als einfaches Kunststoffmantelrohr ausgeführt werden. Unabhängig des Standortes der Energiezentrale wird die Haupttrasse des Nahwärmenetzes in dem Lohmühlenweg verlaufen.

Der Umfang der zu berücksichtigenden Hausanschlüssen und Details zu den Wärmeabnehmern in dem zu beplanenden Quartier sind noch nicht abschließend definiert und müssen im weiteren Projektfortschritt erarbeitet werden. Erst dann kann eine thermo-hydraulische Auslegung des Leitungsnetzes durchgeführt und eine Schätzung der Investitionskosten erfolgen.

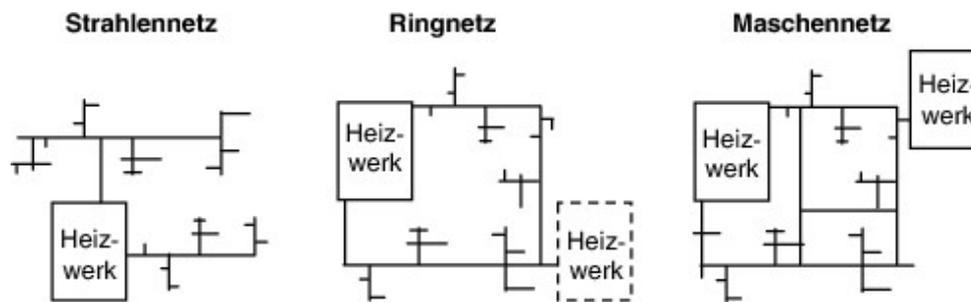


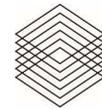
Abbildung 3-1: Arten von Wärmenetzen

Im Allgemeinen wird für die Verteilung von Wärme zwischen drei verschiedenen Netzsystemen unterschieden. Diese sind:

- **Strahlennetz:** Beim Strahlennetz verästeln sich die von der Wärmeerzeugungsanlage abgehenden Leitungen wie bei einem Baum. Den günstigen Baukosten steht der Nachteil gegen über, dass bei Rohrbruch, Reparaturarbeiten etc. alle unterhalb der Schadstelle liegende Verbraucher nicht mehr versorgt werden können.
- **Ringnetz:** Das Ringnetz besteht aus einem Ring von dem einzelne Strahlensysteme abgehen. Durch die Ringform können mehrere Erzeugeranlagen eingebunden werden. Da die meisten Kunden über zwei Leitungswege zu erreichen sind, wirken sich Störungen häufig nur auf ein Teilgebiet aus. Die Versorgungssicherheit wird so erhöht.
- **Vermaschtes Netz:** Das vermaschte Netz ist eine verbesserte Form des Ringnetzes, bei dem parallele Verbindungsleitungen an den Ring angeschlossen werden. Die Versorgungssicherheit ist damit am größten.

Das Netzsystem ist von der Größe, dem Versorgungsgrad eines Gebietes und der Einbindung von Wärmeerzeugern abhängig. Strahlennetze und Ringnetze werden daher hauptsächlich für die Nahwärmeversorgung eingesetzt.

Für das Quartierskonzept in Preetz wird nach aktueller Einschätzung ein Strahlennetz präferiert, weil das Quartier von der geografischen Ausdehnung überschaubar ist. Außerdem wird zum jetzigen Zeitpunkt davon ausgegangen, dass nur eine Energiezentrale zur Wärmeversorgung vorgesehen ist. Diese Variante erschwert jedoch die spätere Einbindung weiterer Wärmeerzeuger bzw. die Zusammenführung verschiedener



Nahwärmenetze, weil die Dimensionierung des Leitungsnetzes entsprechend angepasst werden müsste. Nachfolgend werden die Kosten für ein solches Netz dargestellt.

3.2 Dimensionierung Nahwärmeleitungen

Für die in Kapitel 2 beschriebenen Grundlagen wurde eine erste überschlägige Rohrdimensionierung für die Versorgung des gesamten Quartieres durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 3-1: Komponenten Nahwärmenetz zusammengefasst und in dem Lageplan in Abbildung 3-2 dargestellt.

Abschnitt	Länge	Durchmesser	Anzahl Kugelhähne	Anzahl Dehnungsbögen
1	105 m	DN100	0	1
2	305 m	DN100	0	1
3	70 m	DN100	0	0
4	130 m	DN50	1	1
5	40 m	DN50	0	1
6	80 m	DN65	1	0
7	25 m	DN65	0	1
8	220 m	DN50	1	2
9	110 m	DN65	0	1
10	140 m	DN65	1	0
11	25 m	DN40	0	1

Tabelle 3-1: Komponenten Nahwärmenetz

Die Rohrdurchmesser wurden anhand einer Übersichtstabelle des Leitungsherstellers festgelegt. Dabei wurde von einer mittleren Temperaturdifferenz von 20 K ausgegangen und für die Strömungsgeschwindigkeit ein üblicher Wert von 0,75 m/s bis 1,5 m/s berücksichtigt. Die Leistungsangaben wurden so angesetzt, dass auch noch weitere Reserven für die Anbindung der Wohneinheiten möglich ist.

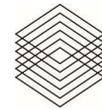


Abbildung 3-2: Übersicht Nahwärmenetz

3.3 Kostenannahme

Die Kosten eines Nahwärmenetzes und damit die Konkurrenzfähigkeit gegenüber anderen Wärmeversorgungssystemen ist in erheblichem Maße von den Anschluss- bzw. Verteilkosten der Wärme abhängig. Diese Kosten variieren stark in Abhängigkeit der Versorgungsaufgabe und der vorhandenen Infrastruktur z.B. Straßenverlauf oder Bebauungsstruktur.

In erster Linie sind die Anschlusskosten von der Länge der Trasse und der zu transportierenden Wärmemenge abhängig, da diese direkt mit der (Nennweite) der zu verlegenden Wärmeleitung korreliert. Der mittlere Durchmesser der Leitungen hängt von der Größe des zu versorgenden Gebietes und damit von der thermischen Leistung der Heizzentrale sowie von der mittleren Größe und dem Wärmebedarf der angeschlossenen Gebäude ab. In einer ersten Kostenannahme wurden die Kosten für den Bau des Nahwärmenetzes zusammengestellt.



Kosten Realisierung Nahwärmenetz

Position		Nennweite	Menge	Einheitspreis (netto)	Gesamtpreis (netto)
Nahwärmeleitungen					
Baustelleneinrichtung/Allgemeines			1 psch		50.000 €
Kunststoffmantelrohr (Twin)	DN100	480 m	492 €/m		236.160 €
Kunststoffmantelrohr (Twin)	DN65	355 m	432 €/m		153.360 €
Kunststoffmantelrohr (Twin)	DN50	390 m	408 €/m		159.120 €
Kunststoffmantelrohr (Twin)	DN40	25 m	384 €/m		9.600 €
		1250 m			
Bogen	DN100	16 St	340 €		5.440 €
Bogen	DN65	8 St	230 €		1.840 €
Bogen	DN50	16 St	200 €		3.200 €
Bogen	DN40	4 St	180 €		720 €
Einmalkugelhahn	DN100	0 St	1344 €		0 €
Einmalkugelhahn	DN65	4 St	960 €		3.840 €
Einmalkugelhahn	DN50	4 St	840 €		3.360 €
Einmalkugelhahn	DN40	0 St	720 €		0 €
T-Stück	DN100	6 St	600 €		3.600 €
T-Stück	DN80	0 St	550 €		0 €
T-Stück	DN65	4 St	500 €		2.000 €
T-Stück	DN50	4 St	400 €		1.600 €
T-Stück	DN40	0 St	350 €		0 €
Sonstiges / weitere Komponenten für Wärmeleitung					80.000 €
Summe Nahwärmeleitungen					713.840 €
Erdarbeiten					
Vorbereitende Arbeiten			psch		50.000 €
Aufbrucharbeiten			psch		100.000 €
Rohrgraben ausheben und verfüllen			1250 m	500 €/m	625.000 €
Oberflächenwiederherstellung (unbefestigt)			psch		120.000 €
Sonstiges			psch		100.000 €
Summe Erdarbeiten					995.000 €

Summe

1.708.840 €

Tabelle 3-2: Kostenannahme Quartier Lohmühlenweg

Die spezifischen Kosten basieren auf den Auswertungen zu vergleichbaren Referenzprojekten. Die Kosten für das Verlegen der Nahwärmeleitungen wurden mit ca. 730.000 Euro ermittelt. Hinzu kommen die Kosten für die Erdarbeiten. Hierfür wird etwa 1 Mio. Euro veranschlagt. Der größte Anteil entfällt dabei auf das Ausheben und Verfüllen der Rohrgräben. Weitere maßgebliche Positionen sind das Öffnen und Wiederherstellen der Oberflächen. Nicht enthalten in der Kostenannahme sind die Kosten für die Hausanschlüsse. Diese sind mit ca. 15.000 Euro je Hausanschluss zu veranschlagen.

4 Wärmeerzeugung

Vor dem Hintergrund, dass die Stadt Preetz eine Wärmeversorgung aus 100 % erneuerbaren Energien anstrebt, sollen vorrangig Solarthermie, Biomasse und Umgebungswärme für die Wärmebereitstellung des Quartiers genutzt werden. Die Möglichkeiten der verschiedenen Wärmeerzeugungsvarianten werden nachfolgend dargestellt.

4.1 Solarthermie

Die Einbindung der solaren Wärme erfolgt über verglaste Flachkollektoren (FK) oder Vakuumröhrenkollektoren (VRK). In den Solarkollektoren befindet sich entweder Heizungswasser oder eine spezielle Solarflüssigkeit. Durch die Solarstrahlung der Sonne wird dieses Medium erwärmt. Bei Verwendung einer speziellen Solarflüssigkeit (Glykol-Wasser-Gemisch) werden Medientemperaturen von bis zu 120 °C erreicht. Anschließend wird diese Wärme über einen Wärmetauscher in das Wärmenetz eingespeist. Bei Verwendung von normalem Heizungswasser als Wärmeträgermedium kann die Solaranlage auch direkt in das Wärmenetz eingebunden werden.

Eine geringe Vorlauftemperatur ist für die effiziente Nutzung solarer Wärme vorteilhaft, eine niedrige Rücklauftemperatur führt außerdem zu einer höheren Aufheizspanne und erhöht damit den Ertrag.

Die Nutzung von Solarthermie stellt eine Wärmequelle mit geringen Betriebskosten dar, da außer dem Strom für den Pumpenbetrieb nur geringe Kosten für die Wartung entstehen. Diesen Vorteil bei den Betriebskosten stehen verhältnismäßig hohe Investitionskosten gegenüber. Diese können jedoch durch öffentliche Fördermittel gesenkt werden. Die Verfügbarkeit von solarthermischer Wärme liegt schwerpunktmäßig in den Sommermonaten, ist fluktuierend und nur geringfügig regelbar. Im Winterbetrieb sind Solarthermieanlagen aufgrund der Rahmenbedingungen höchster Vorlauftemperaturen bei sinkendem Potenzial für die Wärmeerzeugung für den direkten Einsatz nur bedingt geeignet.

Als Grundvoraussetzung ist ein geeigneter weiträumiger Standort zur Aufstellung großer Freiflächenanlagen und evtl. ein saisonaler Speicher erforderlich. Der Leitungsbau zur Versorgung von Quartieren basierend auf Anlagen außerhalb führt zu hohen

Kosten und Leitungsverlusten.

Aufgrund der wetterbedingten Abhängigkeit ist mit Solarthermie eine ganzjährige Bereitstellung der Wärmegrundlast nicht realisierbar. Daher funktioniert Solarthermie nur im Zusammenhang mit einem weiteren Energieerzeuger oder im Zusammenhang mit großen Speichern.

4.2 Wärmepumpe

Wärmepumpen machen die thermische Energie eines ansonsten zu kalten Mediums (z.B.: Umgebungswärme) unter Zuführung einer externen Antriebsenergie für die Bereitstellung von Wärme nutzbar. Als Antriebsenergie für die Wärmeerzeugung dient in der Regel elektrische Energie. Das Verhältnis von erzeugter Nutzwärme und eingesetzter Antriebsenergie wird durch den COP-Wert beschrieben. Für die gesamtheitliche Bewertung der Effizienz und Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpe wird die Jahresarbeitszahl (JAZ) verwendet. Diese beschreibt das Verhältnis von jährlich produzierter Wärmemenge und dafür eingesetzter Strommenge. Die Effizienz der Wärmepumpen ist primär abhängig von der Temperatur des zur Verfügung stehenden Energiestromes und von der Zieltemperatur (Vorlauftemperatur) des Wärmekreislaufes. Eine möglichst geringe Differenz beider führt zu den besten Wirkungsgraden.

Der Einsatz von relativ teuren Wärmepumpen ist durch die aktuelle Entwicklung der Erdgaspreise attraktiver geworden. Insbesondere ein Einsatz in der Grundlast mit vielen Betriebsstunden ist sinnvoll, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu erreichen.

Es ist zu beachten, dass der Betrieb von Luft-Wasser-Wärmepumpen im Winter bzw. bei niedrigen Temperaturen nur sehr ineffizient oder gar nicht möglich ist. Entsprechend ist ähnlich wie bei der Solarthermie ein Betrieb nur im Zusammenhang mit einem wetterunabhängigen Wärmeerzeuger (Biomassekessel oder BHKW) sinnvoll.

4.3 Biomasse

Unter den Begriff Biomasse wird in diesem Zusammenhang die Verbrennung von nachwachsenden Rohstoffen verstanden. In Feuerungskesseln werden zum Beispiel Holzpellets, Holzhackschnitzel oder getrocknetes und gepresstes Bioschnittgut verbrannt und daraus Wärme gewonnen. Die verlustarme Speicherbarkeit von Biomasse



ermöglicht eine flexible Wärmeerzeugung. Grundsätzlich ist sie sowohl tageszeitlich als auch jahreszeitlich bedarfsorientiert einsetzbar. Es muss jedoch der Platzbedarf für Lagerflächen berücksichtigt werden. Im Vergleich zu Gaskesseln ist die Anlagentechnik, insbesondere im Hinblick auf die Brennstoffzufuhr, aufwändiger.

Auch wenn diese Art der Wärmeerzeugung zu den CO₂ neutralen Energieerzeugern zählt, entstehen bei der Verbrennung Abgase und Asche. Die Asche muss in regelmäßigen Abständen abgeholt und fachtechnisch entsorgt werden. Die Emission von Luftschadstoffen, die bei der Verbrennung freigesetzt werden, ist insbesondere im städtischen Raum problematisch und kann zu Akzeptanzproblemen führen.

4.4 BHKW

Ein Blockheizkraftwerk funktioniert nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Das meint die gleichzeitige Umwandlung von eingesetzter Energie in elektrische Energie und in Nutzwärme. Dadurch lassen sich Gesamtwirkungsgrade von bis zu 90 % erzielen.

BHKW können entweder stromgeführt oder wärmegeführt betrieben werden. Bei der wärmegeführten Betriebsweise wird die Laufzeit nach dem Wärmebedarf gesteuert. Der durch die Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Strom wird als Nebenprodukt angesehen und bei Bedarf selber verbraucht oder aber in das Stromnetz eingespeist.

Bei der stromgeführten Betriebsweise wird das BHKW nach dem Strombedarf geregelt und die überschüssige Wärme in ein Wärmenetz oder einen Pufferspeicher eingespeist.

BHKW werden durch das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz gefördert. Netzbetreiber sind verpflichtet, eine BHKW-Anlage an ihr Stromnetz anzuschließen. Strom, den die Betreiber nicht für den eigenen Bedarf benötigen und ins öffentliche Stromnetz einspeisen, wird zudem vergütet.

Aufgrund der aktuellen Gaspreisentwicklung ist der Einsatz von BHKW wirtschaftlich nur schwer kalkulierbar. Ggf. ist an dieser Stelle auch der Einsatz eines Wasserstoff BHKW denkbar. Dabei muss jedoch der zusätzliche Aufwand für die Schaffung der nötigen Infrastruktur berücksichtigt werden.

4.5 Power-to-Heat

Als Power-to-Heat Anlagen werden Anlagen bezeichnet, welche mit Hilfe von Elektroheizstäben oder Elektroheizkesseln aus Strom Wärme erzeugen. Während im Hochtemperaturbereich vor allem Elektrodenheizkessel eingesetzt werden, kommen im dezentralen Niedertemperaturbereich vor allem Heizstäbe zu Einsatz.

In beiden Varianten wird vorzugsweise regenerativ erzeugter Strom nahezu verlustfrei in Wärme umgewandelt. Aus ökologischer Sicht ist eine Power-to-Heat-Lösung immer dann sinnvoll, wenn der Strom aus erneuerbaren Energien stammt. Die Anlagen können sehr steile Lastgradienten fahren und sind genau regelbar, wodurch sie bei Bedarf kurzfristig eingesetzt werden können. Durch die Nutzung von Power-to-Heat kann das Abregeln erneuerbarer Stromerzeuger über Einspeisemanagement reduziert und das Stromnetz stabilisiert werden. Die Einbindung ermöglicht die Bereitstellung von Flexibilität für den Strommarkt, wobei die Vermarktung über den Stromhandel oder auf dem Regelleistungsmarkt erfolgt.

Die Nutzung der Speicherkapazität der Nahwärme stellt eine günstigere Speichermöglichkeit dar als die Nutzung von anderen Speicherarten wie elektrischen oder chemischen Speichern. Künftig könnten die Anlagen als Backup und zur Ausregelung von Erzeugungsschwankungen anderer Wärmequellen genutzt werden.

Aufgrund der hohen erreichbaren Temperaturen sind die Anlagen ohne große konstruktive Aufwände in die Wärmeversorgung integrierbar. Meist werden sie direkt in der Heizzentrale aufgestellt, da hier die hohe erzeugte Wärmeleistung am besten abgeführt werden kann. Zusätzlich sollten die Anlagen an eine hydraulische Weiche angebunden werden, damit eine Einspeisung in Wärmespeicher und Wärmenetz möglich ist.

Die Auswahl und Dimensionierung technisch sinnvoller Energieversorgungsvarianten erfolgt ausgehend von den Auslegungsgrundlagen und der Festlegung der Bedarfswerte.

5 Konzeptanalyse / Projektschritte

Als Entscheidungsgrundlage für den Bauausschuss werden in drei Schritten mögliche Ausbaustufen des Nahwärmenetzes untersucht. Diese Schritte unterscheiden sich deutlich in dem technischen Umfang und basieren auf der voraussichtlichen zeitlichen Entwicklung des Nahwärmenetzes. Außerdem werden dabei die anderen Planungsvorhaben (Erneuerung des Abwasserkanales in dem Lohmühlenweg und Planung Wärmenetz der PreBEG) berücksichtigt.

5.1 Schritt A - Erneuerung des Lohmühlenweges

Gegenstand des ersten Ausbauschlusses ist die Verlegung einer Nahwärmeleitung im Lohmühlenweg. Diese Maßnahme steht im Zusammenhang mit der kurzfristig notwendigen Sanierung des Regenwasserkanals. Betrachtet wird der Trassenverlauf im Lohmühlenweg zwischen Rangniter Ring und Kührener Straße. In diesem ersten Schritt wurden die Randbedingungen für die Bauausführung untersucht. Der betrachtete Leitungsabschnitt ist in der Abbildung 5-1 dargestellt.



Abbildung 5-1: Leitungsverlauf Lohmühlenweg



5.1.1 Beschreibung der Situation

Als Grundlage für Beurteilung zur Ausführung der Nahwärmeleitungen dient die bereits durch Firma Hinz erstellte Straßenplanung der Sanierungsmaßnahme sowie der Bestandsplan mit den Versorgungsleitungen. Die Pläne wurden zur besseren Übersicht in einer PDF übereinandergelegt (siehe Anlage). Gemäß der Planunterlagen wird mittig unter der Straße der neue Regenwasserkanal verlegt. Auf der östlichen Seite der Fahrbahn befindet sich ein gepflasterter Fußweg. In diesem Bereich liegen diverse Versorgungsleitungen (Trinkwasser, Strom 1 kV, Kabel Deutschland). Auf der westlichen Seite der Fahrbahn befinden sich im Seitenbereich der Straße größtenteils wassergebundene Flächen. Die Auffahrten der anliegenden Wohnhäuser sind als gepflasterte Flächen ausgeführt. In dem Bereich der wassergebundenen Fläche verlaufen ebenfalls Gasleitungen und Telekomleitungen. Die genaue Verlegetiefe der Bestandsleitungen ist nicht bekannt. Stellenweise ist der Bereich sehr schmal und bietet wenig Platz zwischen Straße und Grundstück. Detaillierte Informationen können dem beigefügten Bestandsplan zu den Versorgungsleitungen im Anhang entnommen werden. Besonders für die Erstellung der notwendigen Dehnungsbögen ist ein größerer Platzbedarf notwendig.

5.1.2 Ausführungsvorschlag

Grundsätzlich bietet es sich an, die neuen die Nahwärmeleitungen in dem Bereich der wassergebundenen Flächen zu verlegen. Entsprechend der Netzdimensionierung aus Kapitel 3 würden Leitungen mit einem Durchmesser von DN 100 ausreichen um die Wärmeversorgung des in Abbildung 5-1 dargestellten Quartiers sicher zu stellen. Aufgrund der teilweise beengten Verhältnisse bietet sich die Verlegung von Twin-Rohren an. Diese benötigen weniger Platz als Einzelrohre, weil die Vorlauf- und Rücklaufleitung sich in einem gemeinsamen Dämmrohr befinden. Mit Leitungen der Dimension DN 100 können ca. 900 kW Wärme übertragen werden. Diese Wärmemenge ist ausreichend, um alle in Kapitel 2 genannten Wärmeabnehmer in dem Quartier zu versorgen.

Ziel der Überlegung zur Verlegung der Nahwärmeleitungen mit der anstehenden Baumaßnahme der Kanal- und Straßensanierung zu verbinden ist, Synergieeffekte bei den Bodenaushubarbeiten zu erzielen und so Kosten einzusparen. Nach dem aktuellen



Kenntnisstand erscheint eine Verlegung in der wassergebundenen Fläche als die sinnvollste Möglichkeit. Der Mehraufwand bei einer Verlegung im Rahmen Sanierungsarbeiten wird als gering eingeschätzt und bezieht sich in erster Linie auf die etwas umfangreicheren Aushubarbeiten, die auch in der geplanten Sanierungsmaßnahme als zusätzlicher Aufwand anfallen. Diese zusätzlichen Bodenarbeiten sind im Rahmen der Straßensanierung zu deutlich geringeren Kosten realisierbar als bei einer zusätzlichen Maßnahme (siehe Tabelle 5-1: Kosten vorgezogene Verlegung Wärmeleitungen Tabelle 5-1).

In dem Kreuzungsbereich der Straße „Am Jahnplatz“ muss die Leitung im Straßenbereich verlegt werden, weil dort keine unbefestigten Seitenstreifen vorhanden sind. Entsprechend müsste bei einer späteren Verlegung der Nahwärmeleitungen die Straße in diesem Bereich erneut geöffnet werden. Das Gleiche gilt für den Bereich vor dem der Hausnummer 10 im Lohmühlenweg. Dort liegt die Grundstücksgrenze sehr dicht an der Straße.

Grundsätzlich werden Nahwärmeleitungen mit einer Überdeckung von ca. 60 cm verlegt. Die Bestandsleitungen liegen in der Regel tiefer. Mögliche Kollisionen mit Bestandsleitungen müssen genau geprüft werden. Anhand der vorliegenden Bestandsunterlagen ist zu erkennen, dass es in einzelnen Bereichen zu Engstellen kommen kann. So befinden sich im Bereich der Hausnummer 10 querende Schutzrohre mit 10 kV Leitungen. Außerdem müssen an allen Stellen die vorhandenen Hausanschlussleitungen der Gasversorgung gequert werden. Dies ist während der Straßensanierung mit großzügigen Leitungsgräben deutlich einfacher.

Für den Fall einer vorzeitigen Verlegung der Nahwärmeleitung müssen neben den Leitungen auf der vorgesehenen Trasse zusätzlich erforderliche Dehnungsbögen und ein Abzweig für die weitere Erschließung der Straße „Am Jahnplatz“ verlegt werden. Für den Einbau von Dehnungsbögen ist ein höherer Platzbedarf erforderlich. Daher ist der Einbau bei vollständig geöffneter Oberfläche einfacher realisierbar. Bei einer nachträglichen Verlegung muss für den Einbau von Dehnungsbögen erneut die Oberfläche geöffnet werden. Dies führt zu zusätzlichen Kosten. Die Leitungsenden werden mit Klöpperböden verschlossen. Bei einer späteren Erweiterung des Nahwärmenetzes können hier

neue Leitungen angeschlossen werden.

Unter den beschriebenen Gesichtspunkten ist es sinnvoll zumindest im westlichen Bereich des Lohmühlenweges die Leitungen im Zusammenhang mit der Straßensanierung zu verlegen. In dem östlichen Bereich zwischen der Hausnummer 12 und der Zufahrt zur Friedrich-Ebert-Schule ist eine nachträgliche Verlegung der Nahwärmeleitungen auch im Nachgang noch mit verhältnismäßig wenig Aufwand möglich, weil dort die wassergebundene Fläche breiter ausfällt.

Nachteil einer vorgezogenen Verlegung der Nahwärmeleitungen ist die Tatsache, dass die Leitungen ungenutzt in der Erde liegen würden und damit einer vorzeitigen Alterung ausgesetzt wären. Dieser Aspekt ist maßgeblich von der weiteren Entwicklung zur Wärmeversorgung des Quartiers abhängig. Außerdem müssen die entstehenden Kosten ohne einen Nutzen abgeschrieben werden.

5.1.3 Hausanschlüsse

Die Abgänge für die Hausanschlüsse sollten aus technischer Sicht nach Möglichkeit erst hergestellt werden, wenn feste Verträge mit einzelnen Haushalten abgeschlossen wurden. Hierfür müssen dann vor den Grundstücken der Häuser Kopflöcher erstellt werden. Die Hausanschlussleitungen werden dann mit einem Anbohrverfahren an die Hauptleitung angeschlossen. Die Haushalte mit den ungeraden Hausnummern auf der östlichen Straßenseite können nach dem Vortriebverfahren angeschlossen werden. Die nötigen Kopflöcher könnten teilweise in den wassergebundenen Flächen erstellt werden. Je nach genauem Leitungsverlauf ist jedoch nicht auszuschließen, dass hierfür nochmal kleine Abschnitte der Straße geöffnet werden müssen. In dem nördlichen Abschnitt, wo die Nahwärmeleitung höchstwahrscheinlich in der Straße verlaufen wird, ist ein nachträglicher Anschluss aufwändiger. Falls Wohnhäuser in diesem Bereich angebunden werden sollen, müsste die Straße in kleinen Abschnitten geöffnet werden.

Die Anbindung der Friedrich-Ebert-Schule könnte unter dem neu zu gestaltenden Lehrerparkplatz realisiert werden. Dieser wird im Rahmen der Sanierung des Lohmühlenwegs erneuert. Als Alternative zu der vorgezogenen Verlegung von Wärmeleitungen können hier auch Leerrohre vorgesehen werden, damit bei einer späteren Verlegung

der Wärmeleitungen die Pflasterfläche der Parkplätze nicht erneut geöffnet werden muss. An dieser Stelle ergeben sich durch die vermiedenen Kosten für die Erd- und Oberflächenarbeiten und Pflasterarbeiten Einsparungen von ca. 28.000 €.

	Kosten im Zuge der Straßensanierung			Kosten als separate Maßnahme		
	Menge	Einheitspreis	Gesamtpreis	Menge	Einheitspreis	Gesamtpreis
Lohmühlenweg						
Baustelleneinrichtung / Allgemeines	-	-	-	1 psch		50.000 €
Pflaster aufnehmen und wiederherstellen (Zufahrten)	225 m ²	110 €/m ²	24.750 €	225 m ²	110 €/m ²	24.750 €
Straße öffnen	-	-	-	300 m ²	110 €/m ²	33.000 €
Rohrgraben ausheben und verfüllen	200 m	500 €/m	100.000 €	500 m	500 €/m	250.000 €
Oberflächen wiederherstellen (unbefestigt)	-	-	-	500 m	70 €/m	35.000 €
Wiederherstellung Straßenaufbau (Asphalt)	-	-	-	300 m ²	190 €/m ²	57.000 €
Wärmeleitungen verlegen (DN100) inkl. Formstücken	1000 m	300 €/m	300.000 €	1000 m	300 €/m	300.000 €
Parkplatz Friedrich Ebert Schule						
Pflaster aufnehmen und wiederherstellen	-	-	-	90 m ²	85 €/m	7.650 €
Rohrgraben ausheben und Verfüllen	-	-	-	60 m ³	500 €/m	30.000 €
Leerrohr DN 300 Verlegen	120 m	80 €/m	9.600 €	-	-	-
Summe			netto 434.350 €			netto 787.400 €

Tabelle 5-1: Kosten vorgezogene Verlegung Wärmeleitungen

Im Hinblick auf die anstehenden Sanierungsarbeiten an dem Regenwasserkanal in dem Lohmühlenweg erscheint es sinnvoll, die beiden Maßnahmen zumindest teilweise miteinander zu kombinieren. Die Kosteneinsparung aus dem vorzeitigen Verlegen der Nahwärmeleitungen im Vergleich zu einer separaten Maßnahme wird grob mit 350.000 € geschätzt. Größter Nachteil der vorzeitigen Verlegung ist die Unsicherheit bei der Erschließung des Quartiers mit Nahwärme. Für den Fall, die Realisierungen der Wärmeversorgung durch die PreBEG nicht zeitnah vorankommen, sollten alternative Betreiberkonzepte zur Versorgung des betrachteten Quartiers in Erwägung gezogen werden. Mögliche Konzepte zur Wärmeversorgung werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Zur detaillierten Planung und der beschriebenen Leitungsverlegung müssen entsprechende Bestandsunterlagen einbezogen werden.

Im Detail werden folgende Informationen benötigt:

- Querschnitte mit Höhenangaben der vorhandenen und geplanten Leitungen
- Baugrundgutachten
- Straßenaufbau

- Vor-Ort-Begehung

5.2 Schritt B – Sanierung Wärmeerzeugung Friedrich-Ebert-Schule

In diesem Schritt werden mögliche Varianten zur Wärmeversorgung der beiden Neubauten Kita und Mensa betrachtet. Die erste Variante sieht die Installation von jeweils einer kleinen Wärmepumpe für die beiden Gebäude vor. In der zweiten Variante wird eine Modernisierung der Heizzentrale in der Friedrich-Ebert-Schule als Hauptwärmeversorger für die vorhandene Wärmeabnehmer untersucht. In dieser Betrachtung wird die Friedrich-Ebert-Schule als ein eigenständiges kleines Nahwärmenetz untersucht. Das Leitungsnetz für die Versorgung der betroffenen Gebäude ist bereits vorhanden und umfasst die unter Abschnitt 2 beschriebene Bestandssituation. Es wird davon ausgegangen, dass diese Leitungen weiter genutzt werden können. Ziel ist es durch eine Modernisierung der lokalen Wärmeerzeugung den Anteil an regenerativ erzeugter Wärme deutlich zu erhöhen und die Anforderung der EnEV zu genügen.

5.2.1 Erfüllung der GEG Nachweise Kita und Mensa

Für die beiden neuen Gebäude Kita „Rasselbande“ und Mensa wurden EnEV Energienachweise erstellt. Gemäß dieser Nachweise müssen für die Gebäude bestimmte Primärenergiefaktoren für die Wärmeerzeugung der Heizwärme eingehalten werden. Aktuell werden die beiden Gebäude über die Gaskessel der Friedrich-Ebert-Schule mitversorgt. Für die aktuelle Wärmeversorgung gilt eine zeitbegrenzte Übergangsgenehmigung. Eine Überarbeitung der energetischen Bewertung entsprechend des GEG steht noch aus. Damit die Vorgaben des GEG zukünftig eingehalten werden, muss das vorhandene Heizsystem modernisiert werden. Der maximale Leistungsbedarf für die Energieversorgung der Friedrich-Ebert-Schule wurde in Kapitel 2.2.1 mit 510 kW bestimmt. Diese Leistung wird benötigt, um alle derzeit über die Heizzentrale der F.-E.-Schule versorgten Gebäude zu beheizen.

5.2.2 Variante 1: Nachrüsten von Hauswärmepumpen

Die einfachste Lösung zur Erfüllung der Vorgaben aus den von Ingenieurbüro Bumann durchgeführten energetischen Untersuchung ist die Umsetzung der dort

beschriebenen Variante „Einbau einer Wärmepumpe“. Zur Realisierung dieser Variante wird vorgeschlagen zwei kleine Hauswärmepumpen zentral in den Gebäuden nachzurüsten. Zusätzlich sollte jeweils ein kleiner Pufferspeicher mit ca. 500 l vorgesehen werden. Für die Abdeckung der Spitzenlast wird weiterhin auf die Gaskessel in der Friedrich-Ebert-Schule zurückgegriffen. Diese können ebenfalls auf den Speicher arbeiten und dort die Vorlauftemperatur auf die gewünschte Temperatur anheben. Eine Nachheizung mittels Heizstab ist nicht vorgesehen. Auf diese Weise kann die Wärmepumpe hauptsächlich im Grundlastbetrieb mit guten COP Werten betrieben werden. Diese Variante hat den Vorteil, dass sie aufgrund der vorhandenen Leitungen einfach und kostengünstig umzusetzen ist. Bei der späteren Installation eines Nahwärmenetzes kann mit dieser Variante der Anteil der Wärmeerzeugung, der durch die Gaskessel erzeugt wird durch die Wärme aus dem Nahwärmenetz ersetzt werden.

Die Trinkwasserbereitung wird über dezentrale Elektroboiler realisiert und entsprechend in dem Energienachweis berücksichtigt. Dies ist sowohl aus hygienischer Sicht als auch aus energetischer Sicht sinnvoll, weil das Trinkwasser auf über 65° erhitzt werden muss.

5.2.3 Variante 2: Modernisierung der Energieerzeuger

Die aktuelle Energieerzeugung besteht aus zwei Gaskesseln. Damit der Anteil der regenerativen Wärmeerzeugung erhöht wird, muss der alte Gasniedertemperaturkessel mit 489 kW (BJ 1987) ersetzt werden.

Als Ersatz bietet sich eine Wärmepumpe an. Für die Abdeckung der Grundlast ist eine Wärmepumpe in der Größenordnung von 250 kW notwendig. Die Wärmepumpe eignet sich um den Grundlastbedarf zu decken. Für die Abdeckung der Spitzenlast wird weiterhin der kleine Gasbrennwertkessel vorgesehen. Dieser wird zudem für kalte Wintertage benötigt, weil die Wärmepumpe bei Temperaturen unter 5°C in ihrer Betriebsweise ineffizient wird und den gesamten Wärmebedarf nicht decken kann.

Ein weiterer zu beachtender Aspekt ist die notwendige Vorlauftemperatur in den zu versorgenden Gebäuden. Je höher die geforderte Vorlauftemperatur ist, desto ineffizienter wird die Wärmepumpe. Entsprechend bietet es sich an, den Gaskessel auch für

die Nachheizung des Pufferspeichers einzusetzen. Als Alternative sollte die Wärmepumpe zusätzlich mit einem Heizstab ausgestattet werden, der bei Bedarf die Vorlauf-temperatur der Wärmepumpe ebenfalls auf ca. 65°C anheben kann.

Für die Einhaltung des geforderten Mindestanteils an regenerativer Wärme muss die Wärmepumpe die Grundlastabdeckung sicherstellen. Der Gaskessel kommt zum Einsatz, wenn der Betrieb der Wärmepumpe aufgrund eines zu niedrigen COP nicht mehr sinnvoll ist. Auf diese Weise kann im Jahresverlauf der Anteil der Gaskessel an der Wärmeerzeugung reduziert werden. Basierend auf der Anlagenauslegung muss anschließend ein Energienachweis erstellt werden, um die Anteile der Wärmebereitstellung nachzuweisen. Damit Spitzenleistungen abgefangen werden können, wird empfohlen zusätzlich ein Pufferspeicher vorzusehen.



Abbildung 5-2: Beispiel Wärmepumpe mit ca. 250 kW

Für die Aufstellung einer Wärmepumpe in dieser Größenordnung müssen einige Punkte beachtet werden:

Aufstellung

Die Wärmepumpe muss im freien Gelände geschehen, damit ausreichend Umgebungsluft nachgeführt werden kann. Ein möglicher Aufstellungsort könnte die Fläche hinter der Sporthalle sein.

Schallemissionen:

Aufgrund der Aufstellung auf dem Schulgelände müssen bei der Anlagenplanung mögliche Auswirkungen des Lärmes auf den Unterricht betrachtet werden.

Anbindung an Stromnetz:

Aufgrund des hohen Stromverbrauches der Wärmepumpe muss der Anschluss der Leistungsversorgung geprüft werden. Ggf. wird ein separater Transformator benötigt.

Im Zusammenhang mit der Modernisierung der Wärmeerzeuger wird dringend empfohlen einen Pufferspeicher vorzusehen. Besonders bei Wärmepumpen und Solarthermieanlagen führt dies zu einer optimierten Auslastung im Grundlastbetrieb. Außerdem können mit einem Pufferspeicher Lastspitzen besser abgefangen werden.

Solarthermie kann ergänzend vorgesehen werden, jedoch ist der Investitionsaufwand im Verhältnis zu der erzeugbaren Wärme verhältnismäßig aufwändig, weil Dachflächen nur begrenzt bzw. nur sehr zerklüftete Dachflächen zur Verfügung stehen.

5.2.4 Kostenvergleich

Die Errichtung von kleinen Wärmepumpen in den beiden Neubauten wird mit ca. 20.000 € für die Kita und 28.000 € für die Mensa und somit auf eine Gesamtinvestition von 48.000 € geschätzt. Diese Kosten beinhalten die Einbaukosten sowie jeweils einen kleinen Pufferspeicher.

Die Kosten für eine Großwärmepumpe mit ca. 250 kW werden auf ca. 220.000 € geschätzt. Hinzu kommen die Kosten für Erstellung einer geeigneten Aufstellungsfläche (ca. 40.000 €) und die Kosten für die Installation und Anbindeung an das Wärmenetz (ca. 50.000 €). In Summe ist für die Installation einer Großwärmepumpe mit Kosten in Höhe von ca. 310.000 € zu rechnen.

Aufgrund der aktuell großen Nachfrage nach Wärmepumpen ist mit längeren Lieferzeiten bei den Herstellern zu rechnen. Der Zeitraum zur Umsetzung der Maßnahme ist mit den Behörden abzustimmen.



5.3 Schritt C - Umsetzung des gesamten Wärmenetzes

In diesem Abschnitt wird dargestellt, wie ein gesamtes Wärmenetz realisiert werden könnte und wie groß eine Heizzentrale dimensioniert werden müsste. Hierbei wird der Wärmebedarf des gesamten Quartiers betrachtet. In der Bedarfsermittlung wurde eine notwendige Heizleistung von 1.120 kW für alle öffentlichen Liegenschaften und zusätzlich knapp 350 kW für die potentielle Anbindung der angrenzenden Wohngebäude bestimmt. Daraus ergibt sich als Auslegungsgröße für eine neue Heizzentrale eine benötigte Gesamtwärmeleistung von ca. 1.500 kW.

5.3.1 Vollkostenvergleich nach VDI 2067

Der in diesem Kapitel beschriebene Vollkostenvergleich ist angelehnt an die VDI 2067. Es wird unterschieden zwischen kapitalgebundenen, betriebsgebundenen und verbrauchsgebundenen Jahreskosten.

In diesem Vergleich werden zwei technische Varianten zur Realisierung des Nahwärmenetzes betrachtet. Der zukünftig benötigte Heizleistungsbedarf liegt bei ca. 1.500 kW und wurde mittels der uns zur Verfügung gestellten Daten berechnet. Da jedoch noch nicht sicher ist, wie viele Ein- und Mehrfamilienhäuser an das zukünftige Nahwärmenetz angeschlossen werden, ist die berechnete Heizlast als erste Schätzung anzusehen. In den beiden betrachteten technischen Varianten wurde darauf geachtet, dass die Heizenergie möglichst regenerativ erzeugt wird und möglichst wenige fossile Brennstoffe zum Einsatz kommen.

Variante 1:

In Variante 1 wird der angenommene Wärmebedarf von 1.500 kW von zwei Holzpelletkesseln mit einer Feuerungswärmeleistung von jeweils 500 kW, einer Solarthermieanlage mit einer thermischen Leistung von 160 kW_{peak} und dem kleineren Bestandsgaskessel mit 300 kW_{th} zur Verfügung gestellt.

Variante 2:

In Variante 2 wird der angenommene Wärmebedarf ebenfalls von zwei Holzpelletkesseln mit einer Feuerungswärmeleistung von jeweils 500 kW und einer Hochtemperatur-Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von ca. 505 kW (bei 10 °C

Außentemperatur, COP: 2,5) gedeckt. Berücksichtigt wurde zudem eine Photovoltaik-Anlage mit einer elektrischen Leistung von ca. 202 kW_{peak}, um einen Teil des relativ hohen Strombedarfs der Wärmepumpe selbst erzeugen zu können. Zudem kann die PV-Anlage vor allem in den Sommermonaten zur Stromverdrängung genutzt werden.

Photovoltaik

Die Stadt Preetz verfügt sicher über photovoltaisches Potential, das mit Hilfe des „*Photovoltaic Geographical Information System*“ der Europäischen Union bestimmt wurde (Quelle: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html). In Abbildung 5-3 sind die Ergebnisse der Simulation aufgeführt.

Gemachte Eingaben:		Ergebnisse der Simulation	
Breite/Länge:	54.224,10.271	Neigungswinkel:	30 °
Horizont:	Berechnet	Azimet-Winkel:	25 °
Verw. Datenbank:	PVGIS-SARAH2	PV Energieerzeugung pro Jahr:	188667.87 kWh
PV Technologie:	Kristallines Silizium	Einstrahlung/Jahr auf Modulebene:	1200.02 kWh/m ²
Installierte PV:	202 kWp	Jährliche Schwankungen:	8221.67 kWh
Systemverlust:	14 %	Veränderung der Ergebnisse aufgrund von:	
		Einfallswinkel:	-3.28 %
		Spektraleffekte:	1.73 %
		Temp + niedrige Bestrahlungsst:	-8.02 %
		Gesamtverlust:	-22.17 %

Abbildung 5-3: PVGIS-5 Schätzung der Solarstromerzeugung

Pro Jahr können demnach am Standort der Friedrich-Ebert-Schule ca. 188,7 MWh an elektrischer Energie durch die PV-Anlage erzeugt werden. Hierbei wurde zur Annäherung bei vorhandenen und zukünftigen Schräg- und Flachdächern ein fester Modul-Neigungswinkel von 30 ° angenommen. Abbildung 5-5 stellt den möglichen Energieertrag der PV-Anlage für die einzelnen Monate dar.

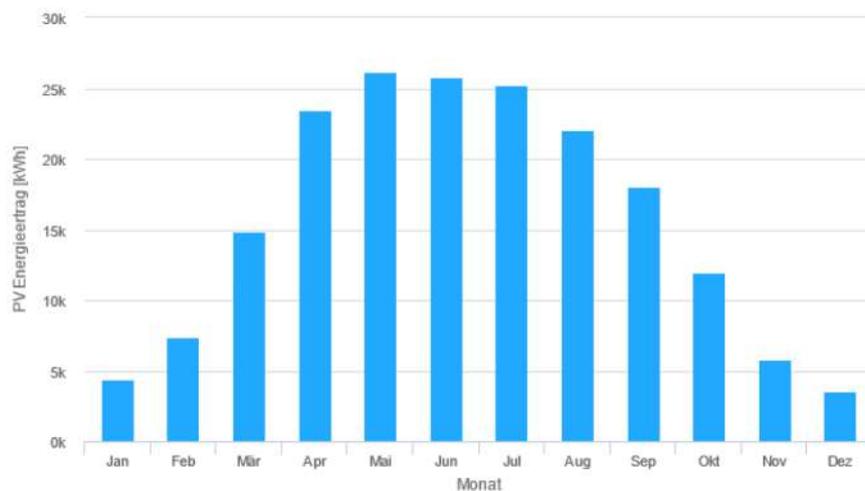


Abbildung 5-4: Energieertrag pro Monat von PV-Anlage mit fester Neigung

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Stromertrag der PV-Anlage in den Monaten März bis September am größten ist. In den Wintermonaten Oktober bis Februar kann jedoch noch mit einem Stromertrag von ca. 32.500 kWh gerechnet werden.

Um die benötigte elektrische Peak-Leistung von 202 kW erzeugen zu können, müssen ca. 512 Module installiert werden. Das entspricht einer Aperturfläche von ca. 824 m². Abbildung 5-5 stellt ein Luftbild der Friedrich-Ebert-Schule und der Kita „Die Rasselbände“ dar, in dem die nutzbaren Dachflächen markiert sind. Die Markierungen A bis F gehören zur Friedrich-Ebert-Schule, G, H und K gehören zur Kita, Markierung I ist die Dachfläche der zukünftigen Energiezentrale (ca. 240 m²) und J ist die Fläche einer möglichen Überdachung (ca. 420 m²). Auf der Energiezentrale könnten ca. 121 Module und auf der Überdachung ca. 209 Module installiert werden.

Um die Module zu installieren, werden unter Berücksichtigung von Dachkantenabständen, Reihenabständen und Modulabständen eine bebaubare Dachfläche von ca. 1.174 m² benötigt. Theoretisch bieten die Gebäude A und B sowie G – K eine ausreichende Fläche. Es wäre technisch und wirtschaftlich vorteilhafter, die Module möglichst kompakt zu installieren und nicht über viele Dächer zu verteilen. Dies ist aufgrund der nutzbaren Dachflächen jedoch nicht möglich. Würde die Fläche der Überdachung „J“ verdoppelt werden, könnte die gesamte PV-Anlage auf der Überdachung und der Energiezentrale installiert werden.



Abbildung 5-5: Luftbild Standort Friedrich-Ebert-Schule

Solarthermie

Die benötigte Solarthermie-Anlage für Variante 1 hat eine thermische Leistung von $160 \text{ kW}_{\text{peak}}$ und besteht aus ca. 79 Vakuumröhrenkollektoren mit einer Gesamtperturfläche von ca. 224 m^2 . Für die Auslegung und erste Planung wurde, wie bei der PV-Anlage, ein Neigungswinkel von 30° angenommen, die auf den Flachdächern durch Aufständigung der Module realisiert werden kann. Für die Installation der Module würde die vorhandene Dachfläche der Kita (Fläche G, H und K) ausreichen.

5.3.2 Kapitalgebundene Jahreskosten

Die kapitalgebundenen Kosten setzen sich u.a. zusammen aus den Anschaffungskosten und den Kosten zur Instandhaltung der Anlage und der Gebäude. Betrachtet werden die baulichen Anlagen wie die Energiezentrale, die Fundamente für Pufferspeicher und Silos sowie des Kamins, die Wärmeerzeuger mit Zubehör und die restlichen Anlagenkomponenten wie Rohrleitungen, Pufferspeicher und Silos. Außerdem werden die Elektrotechnik und Mess-, Steuer- und Regelungstechnik betrachtet. Dabei bilden die



Instandhaltungskosten die jährlich zu leistenden kapitalgebundenen Kosten. Die Anschaffungskosten treten nur einmalig auf. In Tabelle 5-2 sind die kapitalgebundenen Jahreskosten für beide Varianten aufgeführt.

Kapitalgebundene Jahreskosten							
	Variante 1			Variante 2			
	Anschaffungskosten	Nutzungsdauer	Instandhaltung	Anschaffungskosten	Nutzungsdauer	Instandhaltung	
Fernwärme							
E-, MSR-Technik	80.000 €	15	50 €	80.000 €	15	50 €	
Netzpumpen	154.800 €	10	30 €	154.800 €	10	30 €	
Rohrleitungen + Zubehör	112.200 €	25	20 €	112.200 €	25	20 €	
Druckhaltung	30.000 €	15	20 €	30.000 €	15	20 €	
Wasseraufbereitung	6.000 €	15	20 €	6.000 €	15	20 €	
Heizverteiler	10.000 €	15	10 €	10.000 €	15	10 €	
TW-Verteiler	4.800 €	15	10 €	4.800 €	15	10 €	
Pufferspeicher	75.000 €	15	20 €	95.000 €	15	20 €	
Gebäude	545.000 €	30	20 €	545.000 €	30	20 €	
Fundamente (Pufferspeicher, Kamin, Silos)	42.000 €	30	- €	50.000 €	30	- €	
Summe, netto	1.059.800 €		200 €	1.087.800 €		200 €	
Erdgas							
Gaskessel (Bestand)	- €	10	300 €	- €	-	- €	
Summe, netto	- €		300 €	- €		- €	
Holzpellets							
Pelletkessel	200.000 €	15	400 €	200.000 €	15	400 €	
Zubehör Kessel	38.000 €	15	50 €	38.000 €	15	50 €	
Rauchgasreinigung	72.000 €	15	50 €	72.000 €	15	50 €	
Silo mit Zubehör und Fördertechnik	184.000 €	15	400 €	184.000 €	15	400 €	
Kamin	32.000 €	30	250 €	32.000 €	30	250 €	
Summe, netto	526.000 €		1.150 €	526.000 €		1.150 €	
Solarthermie							
Solarthermie-Anlage inkl. Druckhaltung und Pumpen	163.530 €	15	1.400 €	- €	-	- €	
Summe, netto	163.530 €		1.400 €	- €		- €	
Photovoltaik							
Photovoltaik-Anlage inkl. Zubehör	- €	-	- €	262.376 €	20	60 €	
Summe, netto	- €		- €	262.376 €		60 €	
Wärmepumpe							
Wärmepumpe	- €	-	- €	450.000 €	20	1.000,00 €	
Trafostation	- €	-	- €	35.000 €	20	100,00 €	
Summe, netto	- €		- €	485.000 €		1.100,00 €	
Gesamtsumme, netto:	1.749.330 €		3.050 €	2.361.176 €		2.510 €	

Tabelle 5-2: Kapitalgebundene Jahreskosten

Die kapitalgebundenen Jahreskosten sind aufgeteilt in die Bereiche Nahwärme, Erdgas, Holzpellets, Solarthermie, Photovoltaik und Wärmepumpe. Die Anschaffungskosten beziehen sich auf Angebote und Schätzungen. Die tatsächlichen Anschaffungskosten sind bei der aktuellen politischen Lage nur schwer abzuschätzen und sind ggf. höher. Auch die Kosten für die jährliche Instandhaltung können abweichen und sind in der Tabelle lediglich geschätzt. Die jährlichen kapitalgebundenen Kosten betragen bei Variante 1 ca. 3.050 € und bei Variante 2 ca. 2.510 €. Die Differenz beträgt ca. 540 € jährlich.

Die Anschaffungskosten von Variante 1 sind mit ca. 1,75 Mio. € ca. 612.000 € geringer als bei Variante 2. Hier belaufen sich die Anschaffungskosten für die Anlagen-, Bau- und

Elektrotechnik auf ca. 2,4 Mio. €. Für eine erste Berechnung der Annuität der beiden Varianten wurden die Gesamtanschaffungskosten betrachtet:

	Variante 1	Variante 2
Investitionskosten	1.749.330 €	2.361.176 €
Zinssatz	3 %	
Kreditlaufzeit	10 Jahre	
Annuität	205.074,84 €/a	276.801,86 €/a

Tabelle 5-3: Berechnung der Annuität

Die Annuität von Variante 2 ist ca. 71.727,02 € höher als die Annuität von Variante 1.

5.3.3 Betriebsgebundene Jahreskosten

Die betriebsgebundenen Jahreskosten beinhalten die Kosten, die direkt mit dem Betrieb der Anlage verbunden sind. Dazu gehören u.a. Wartungskosten, Versicherungen, Schornsteinfeger sowie die Grundpreise für den eingesetzten Energieträger Erdgas und Strom. In Tabelle 5-4 werden die jährlichen betriebsgebundenen Kosten für beide Varianten verglichen. Die aufgeführten Kosten wurden geschätzt. Die tatsächlichen Preise sowie die Kosten für Wartungen und Versicherungen können von den hier angenommenen Werten abweichen.

Die jährlichen betriebsgebundenen Kosten sind bei beiden Varianten nahezu identisch. Der größte Teil der Kosten entfällt bei beiden Varianten auf die Holzpelletkessel. Danach folgen die Solarthermie (Variante 1) und Wärmepumpe (Variante 2).



Betriebsgebundene Jahreskosten		
	Variante 1	Variante 2
	Preis/Jahr	Preis/Jahr
Fernwärme		
Wartung Heizzentrale	100 €	100 €
Summe, netto:	100 €	100 €
Erdgas		
Wartung Erdgaskessel inkl. Emissionsprüfung und Schornsteinfeger	300 €	- €
Gasgrundpreis	400 €	- €
Summe, netto:	700 €	- €
Holzpellets		
Wartung Pelletkessel inkl. Emissionsprüfung und Schornsteinfeger	2.000 €	2.000 €
Wartung Fördertechnik	400 €	400 €
Versicherung	300 €	300 €
Summe, netto:	2.700 €	2.700 €
Solarthermie		
Wartung der Anlage	1.600 €	- €
Versicherung	300 €	- €
Summe, netto:	1.900 €	- €
Photovoltaik		
Strompreis Netzeinspeisung EEX (Strom wird eigenverbraucht)	- €	- €
Wartung der Anlage	- €	400 €
Versicherung	- €	250 €
Summe, netto:	- €	650 €
Wärmepumpe		
Stromgrundpreis	- €	300 €
Wartung der WP	- €	1.200 €
Versicherung	- €	400 €
Summe, netto:	- €	1.900 €
Gesamtsumme, netto:	5.400 €	5.350 €

Tabelle 5-4: Betriebsgebundene Jahreskosten

5.3.4 Verbrauchsgebundene Jahreskosten

Die verbrauchsgebundenen Jahreskosten setzen sich aus den direkt mit der Wärmeerzeugung verbundenen Kosten zusammen. Hierzu gehören Kosten für Brennstoffe und Hilfsenergie. Hilfsenergie wird z.B. für die Beleuchtung, Verbrennungsluftventilatoren, Förderschnecken und Umwälzpumpen benötigt. In Tabelle 5-5 sind die verbrauchsgebundenen Jahreskosten beider Varianten aufgeführt.



Verbrauchsgebundene Jahreskosten		
	Variante 1	Variante 2
Erdgas		
Gasarbeitspreis [ct/kWh]	15	-
Jahresarbeit [kWh]	44.370	-
Jahresarbeitskosten	6.656 €	-
Hilfsenergiekosten	2.511 €	-
Summe, netto:	9.167 €	- €
Holzpellets		
Pelletpreis [€/t]	700 €	700 €
Brennstoffbedarf [t]	341	152
Wärmeerzeugung [kWh/a]	1.800.000	800.000
Brennstoffkosten	238.772 €	106.121 €
Hilfsenergiekosten	8.969 €	8.969 €
Summe, netto:	247.741 €	115.090 €
Wärmepumpe		
Stromarbeitspreis [ct/kWh]	-	60,6
Wärmeerzeugung [kWh/a]	-	1.200.000
Strombedarf [kWh] ohne PV	-	480.000
Strombedarf [kWh] mit PV	-	447.500
Jahresarbeitskosten ohne PV	-	290.640 €
Jahresarbeitskosten mit PV	-	270.961 €
Hilfsenergiekosten	-	4.723 €
Summe mit PV, netto:	- €	275.684 €
Solarthermie		
Wärmeerzeugung [kWh/a]	155.630	-
Hilfsenergiekosten	4.022 €	-
Summe, netto:	4.022 €	- €
Photovoltaik		
Stromerzeugung [kWh/a]	-	188.667,87
Stromerzeugung [kWh] (Oktober - Februar)	-	32.500
Hilfsenergiekosten	-	-
Summe, netto:	- €	- €
Summe	260.931 €	390.774 €

Tabelle 5-5: Verbrauchsgebundene Jahreskosten

Der aufgeführte Gasarbeitspreis wurde aufgrund der aktuellen Preisentwicklung mit 15 ct/kWh und der Stromarbeitspreis mit den 2,5-fachen des aktuellen Preises, mit 60,6 ct/kWh angenommen. Dieser Annahmen liegen deutlich über den aktuellen Preisen und sollen eine realistische Preissteigerung berücksichtigen. Mögliche Preisschwankungen bezüglich der aktuellen politischen Lage, Inflation sowie der

unvorhersehbaren Umstände können haben relevanten Einfluss auf die Gesamtkosten. Der angenommene Einkaufspreis für Holzpellets beruht auf den Preisen der letzten beiden Monate und einer theoretischen Annahme der zukünftigen Preisentwicklung. Im Juli 2022 kostete eine Tonne Holzpellets ca. 507 € und im August 2022 betrug der Tonnenpreis ca. 760 € (Quelle: <https://www.swp.de/panorama/pellets-holzpellets-pellet-preise-2022-aktuell-65253081.html>).

Ab Herbst soll der Preis allerdings wieder etwas sinken, sodass für die beiden betrachteten Varianten ein Pelletpreis von ca. 700 €/t veranschlagt wird.

Für das zukünftige Nahwärmenetz wird ein Wärmebedarf von ca. 2 GWh/a angenommen (s. Kapitel 2.2).

Erläuterungen Wärmeerzeugung Variante 1: Die Solarthermieanlage umfasst ca. 79 Module mit einer Wärmebereitstellung von ca. 2,039 kW je Modul. Pro Jahr kann diese Anlage theoretisch ca. 156 MWh Wärme erzeugen. Dieser Wert ist jedoch abhängig von den installierten Modulen, der Verschattung, der Intensität der Sonneneinstrahlung sowie weiteren klimatischen Faktoren und wird in diesem Kostenvergleich als Annahme betrachtet. Die beiden Holzpelletkessel sollen in Variante 1 die Grundlast abdecken. Aus diesem Grund wird hier eine Wärmeerzeugung von 1,8 GWh angenommen. Da uns weder Gas- noch Stromlastgänge vorliegen, ist dies eine theoretische Annahme. Die Spitzenheizlast wird von der Solarthermieanlage und dem vorhandenen Erdgaskessel gedeckt. Da die Wärmeerzeugung der Solarthermie-Anlage feststeht, wird die restliche benötigte Wärmeenergie von ca. 44,4 MWh vom Gaskessel geliefert.

Erläuterungen Wärmeerzeugung Variante 2: Die Wärmepumpe erzeugt unter der Annahme, dass der benötigte elektrische Strom aus erneuerbaren Energiequellen stammt, ca. 1,2 GWh Wärme pro Jahr und liefert damit den größten Teil der insgesamt benötigten Wärmemenge von ca. 2 GWh. Die beiden Holzpelletkessel liefern die restliche benötigte Wärmemenge von ca. 800 MWh. Die in der Photovoltaik-Anlage erzeugte elektrische Energie soll für das Betreiben der Wärmepumpe genutzt werden. In den



Monaten Oktober bis Februar erzeugt die PV-Anlage ca. 32,5 MWh elektrischer Energie, die für den Betrieb der Wärmepumpe verwendet werden können. Die restliche benötigte elektrische Energie wird durch das öffentliche Netz bezogen. Vor allem in den Sommermonaten soll der durch die PV-Anlage erzeugte Strom zur Stromverdrängung beitragen. Pro Jahr kann die PV-Anlage ca. 189 MWh elektrische Energie erzeugen.

Die verbrauchsgebundenen Jahreskosten sind bei Variante 2 mit 390.704 € um 129.844 € höher als bei Variante 1. Hier betragen die jährlichen verbrauchsgebundenen Kosten 260.931 €. Der Große Kostentreiber bei der Variante 2 sind die hohen Stromkosten für den Betrieb der Wärmepumpe.

5.3.5 Auswertung

Preisschwankungen bzgl. der aktuellen und zukünftigen politischen und wirtschaftlichen Lage wurden bei den jährlichen Kosten nicht berücksichtigt. Zudem wären die Werte aufgrund der unsicheren Entwicklung nicht belastbar. Demnach werden die jährlichen Kosten in diesem Kostenvergleich als konstant angesehen, um zumindest einen ersten Eindruck zu erhalten.

Die Übersichten der Jahreskosten der Varianten sind in Tabelle 5-6 und Tabelle 5-7 aufgeführt.

Variante 1						
	Fernwärme	Erdgas	Holzpellets	Solarthermie	Wärmepumpe	Photovoltaik
Verbrauchsgebunden	- €	9.167 €	247.741 €	4.022 €	- €	- €
Betriebsgebunden	100 €	700 €	2.700 €	1.900 €	- €	- €
Kapitalgebunden	200 €	300 €	1.150 €	1.400 €	- €	- €
Summe, netto	300 €	10.167 €	251.591 €	7.322 €	- €	- €

Tabelle 5-6: Übersicht der Jahreskosten Variante 1

Variante 2						
	Fernwärme	Erdgas	Holzpellets	Solarthermie	Wärmepumpe	Photovoltaik
Verbrauchsgebunden	- €	- €	115.090 €	- €	275.684 €	- €
Betriebsgebunden	100 €	- €	2.700 €	- €	1.900 €	650 €
Kapitalgebunden	200 €	- €	1.150 €	- €	1.100 €	60 €
Summe, netto	300 €	- €	118.940 €	- €	278.684 €	710 €

Tabelle 5-7: Übersicht der Jahreskosten Variante 2

Die verbrauchsgebundenen Kosten sind wesentlich höher als die betriebs- und kapitalgebundenen Kosten. Sie machen in Variante 1 ca. 97 % und in Variante 2 ca. 98 % der

Gesamtjahreskosten aus.

Zum besseren Vergleich sind je Variante die kapital-, betriebs- und verbrauchs-gebundenen Jahreskosten als ein Summenwert zusammengefasst. (s. Tabelle 5-8). Die gesamten Jahreskosten sind, wie oben erläutert, bei Variante 2 um ca. 130.000 € höher als bei Variante 1.

	Variante 1	Variante 2
Fernwärme	300 €	300 €
Erdgas	10.167 €	- €
Holzpellets	251.591 €	118.940 €
Solarthermie	7.322 €	- €
Wärmepumpe	- €	278.684 €
Photovoltaik	- €	710 €
Summe, netto	269.381 €	398.634 €

Tabelle 5-8: Zusammenfassung Jahreskosten Variante 1 und 2

Die Zusammenfassung der Jahreskosten von Variante 1 und 2 sind in folgendem Diagramm graphisch dargestellt (s. Abbildung 5-6) Das Verhältnis der Kosten je Variante und auch die kostenspezifischen Unterschiede zwischen den beiden Varianten sind zu erkennen.

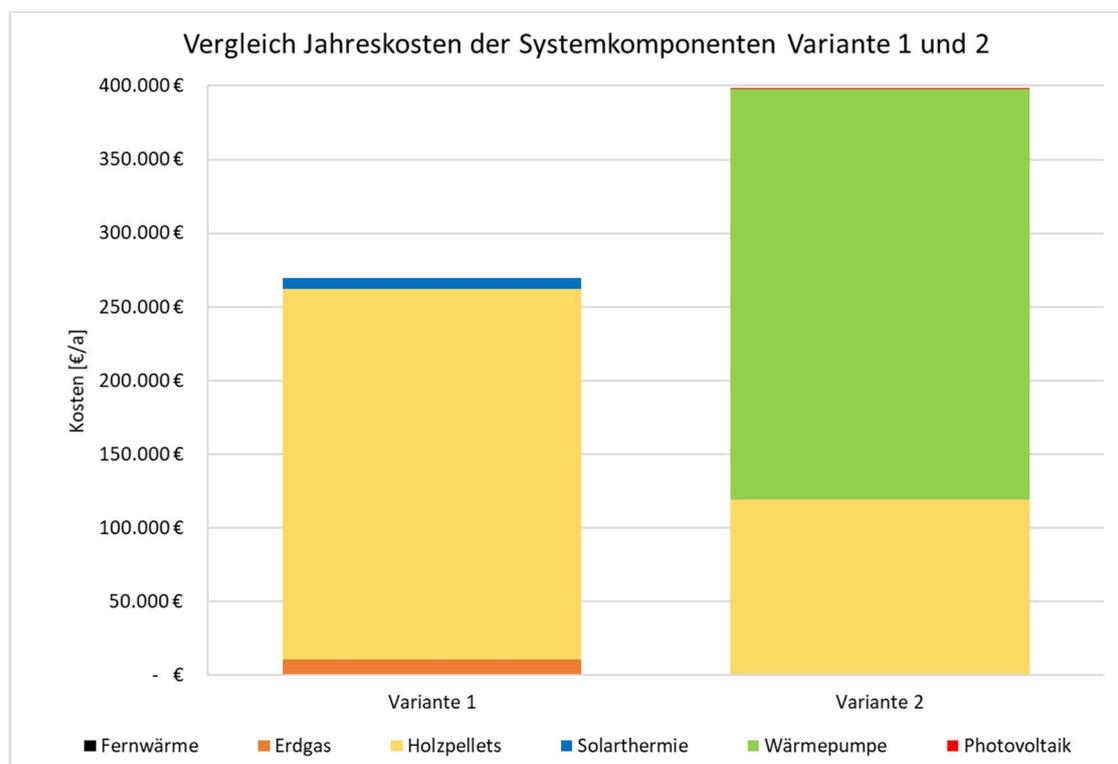


Abbildung 5-6: Vergleich Summenwerte der Jahreskosten von Variante 1 und 2

Aufgrund der Skalierung ist der Bereich Nahwärme bei beiden Varianten kaum zu erkennen. In Variante 1 ist der Anteil der Kosten für die Holzpellets mit Abstand am größten. In Variante 2 sind die gesamten Jahreskosten für den Strom zum Betrieb der Wärmepumpe mit Abstand der größte Faktor. In Variante 2 sind jedoch auch die Kosten für Holzpellets zu beachten.

In Tabelle 5-9 sind die Jahreskosten und die Anschaffungskosten von Variante 1 und 2 zusammengefasst.

Jahreskosten	Variante 1	Variante 2
Kapitalgebunden	3.050 €	2.510 €
Betriebsgebunden	5.400 €	5.350 €
Verbrauchsgebunden	260.931 €	390.774 €
Summe, netto:	269.381 €	398.634 €
Anschaffungskosten (einmalig), netto	1.749.330 €	2.361.176 €

Tabelle 5-9: Zusammenfassung Jahreskosten

Die kapitalgebundenen Jahreskosten stellen die jährlichen Instandhaltungskosten dar und unterscheiden sich bei beiden Varianten nur leicht. Auch die betriebsgebundenen Jahreskosten sind bei den Varianten beinahe identisch. Der bei beiden Varianten größte Kostenpunkt sind die jährlichen verbrauchsgebundenen Kosten. Variante 2 ist hierbei mit etwa 130.000 € teurer als Variante 1. Die Anschaffungskosten bei Variante 1 sind mit einer Differenz von ca. 610.000 € ebenfalls deutlich höher als bei Variante 1.

In Abbildung 5-7 ist mit Hilfe eines Säulendiagramms dargestellt, wie sich die Gesamtkosten der beiden Varianten im Laufe der nächsten 15 Jahre verhalten. Das Diagramm beginnt mit dem Jahr 2023, in dem nur die einmaligen Anschaffungskosten angerechnet werden (Variante 1: 1.749.330 €, Variante 2: 2.361.176 €). Im Jahr 2024 werden die jährlichen kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten zu den im Vorjahr geleisteten Anschaffungskosten addiert und so ergeben sich die bis dahin gesamten entstandenen Investitionskosten je Variante. Auch in den Jahren darauf werden jährlich die kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten addiert.

Es ist zu erkennen, dass zwar die Anschaffungskosten von Variante 2 in der zeitlichen Entwicklung dauerhaft teuer ist als Variante 1.

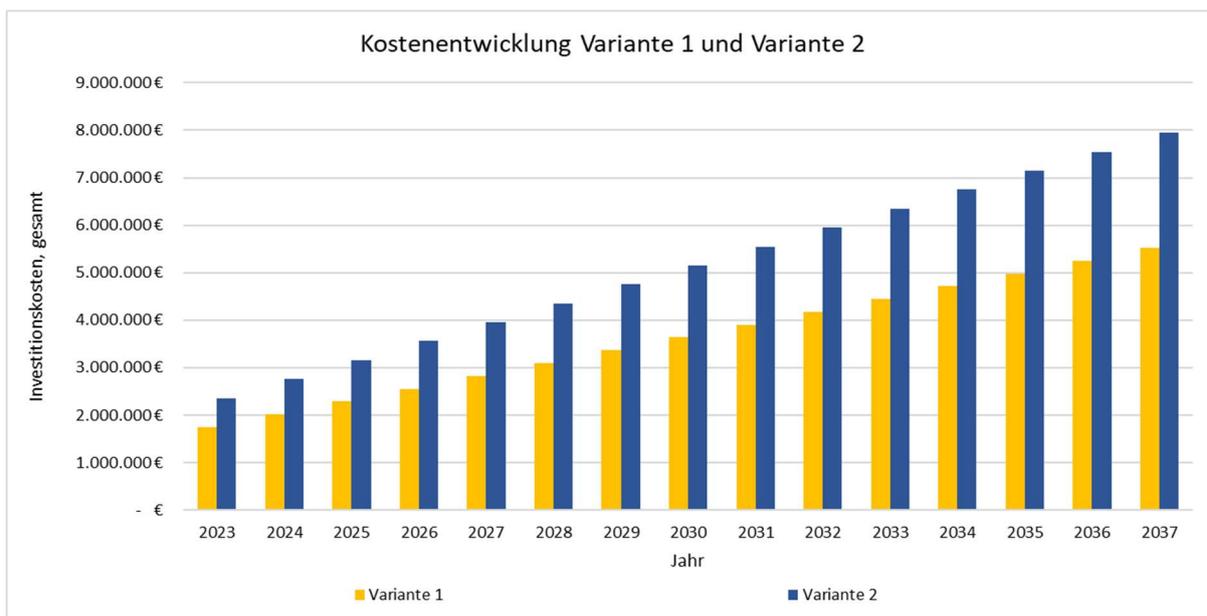


Abbildung 5-7: Vergleich Kostenentwicklung Variante 1 und 2

5.4 CO₂-Bilanz

In diesem Abschnitt werden die CO₂-Bilanzen der beiden technischen Varianten miteinander verglichen. Dabei wird ein gesamter Wärmebedarf von 2 GWh für das gesamte Quartier zu Grunde gelegt. Der CO₂-Faktor bestimmt die erzeugte Menge CO₂ pro erzeugter kWh thermischer oder elektrischer Energie. Zur Erstellung einer CO₂-Bilanz werden die CO₂-Faktoren zur Wärmeerzeugung bzw. Stromerzeugung des Umweltbundesamtes („Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2017“) angenommen. In den folgenden Tabellen sind die CO₂-Emissionen der Variante 1 und 2 aufgeführt. Grundsätzlich setzen sich diese Faktoren aus einem direkten und einem indirekten Anteil zusammen. Der direkte Anteil beinhaltet den CO₂ Anteil, der aus der Verbrennung des Energieträgers resultiert. Der indirekte Anteil berücksichtigt die Vorkette für die Herstellung der Wärmeerzeugungsanlagen sowie die benötigte Hilfsenergie.

Variante 1			
	Energieerzeugung [MWh/a]	CO ₂ -Faktor [kg/kWh]	CO ₂ -Emissionen [t/a]
Erdgas	44,3	0,247	11,0
Holzpellets	1.800	0,024	43,2
Solarthermie-Anlage	155,6	0,027	4,2
Summe			58,4

Tabelle 5-10: CO₂-Emissionen Variante 1

In Variante 1 wird Wärme mit Hilfe von einem Erdgaskessel, zwei Holzpelletkesseln und einer Solarthermieanlage erzeugt. Insgesamt werden dabei pro Jahr ca. 58,4 t CO₂ emittiert. Bei der Ermittlung des CO₂-Faktors für Holzpellets wird von einer CO₂ Neutralen Verbrennung ausgegangen. Bäume entziehen der Luft während ihres Wachstums genau so viel CO₂, wie bei der Verbrennung des Holzes freigesetzt wird. Weil in Deutschland nicht mehr Holz eingeschlagen wird als nachwächst, kann man von CO₂-Neutralität der Verbrennung sprechen. Diese Sichtweise ist jedoch strittig, weil bei kurzzeitiger Betrachtung durch die Verbrennung CO₂ in die Atmosphäre gelangt. Würden diese Emissionen berücksichtigt werden, wäre der CO₂-Faktor deutlich schlechter.

Variante 2			
	Energieerzeugung [MWh/a]	CO₂-Faktor [kg/kWh]	CO₂-Emissionen [t/a]
Holzpellets	800,0	0,024	19,2
Wärmepumpe	1.200,0	0,208 (0,027)	249,6 (32,4)
Photovoltaik-Anlage	188,7	0,068	12,8
Summe			281,6 (64,4)

Tabelle 5-11: CO₂-Emissionen Variante 2

In Variante 2 wird die Wärme mit Hilfe von zwei Holzpelletkesseln und einer Wärmepumpe erzeugt. Die Photovoltaik-Anlage erzeugt pro Jahr ca. 189 MWh elektrische Energie. Für den Betrieb der Wärmepumpe ca. 447,5 MWh Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen. Die CO₂ Emissionen für den eingesetzten Strom werden in der Berechnung des CO₂ Faktors der Wärmepumpe berücksichtigt. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Strom zu einem bestimmten Anteil aus fossilen und regenerativen Primärenergieträgern erzeugt wird. Insgesamt werden bei der Erzeugung der benötigten Wärmemenge und durch den Bezug von Strom aus dem Netz pro Jahr ca. 1.056 t CO₂ emittiert. Somit werden bei Variante 2 ca. 223 t CO₂ und entsprechend ca. 4 mal mehr CO₂ in die Atmosphäre abgegeben als bei Variante 1.

Die Werte in Klammern stellen den Fall dar, dass der in der Wärmepumpe eingesetzte Strom aus vollständig regenerativer Erzeugung stammt. Für diesem Fall liegen die indirekten Emissionen des CO₂-Faktors bei 0 und senken dadurch den CO₂ Faktor deutlich. Im Vergleich dazu werden durch die Verbrennung von 2.000 MWh Erdgas 494 t CO₂ in

die Umwelt ausgestoßen. Daraus ergeben sich CO₂ Einsparungen von 435,6 t CO₂ gegenüber der Variante 1 und 212,4 t CO₂ bzw. 429,6 t CO₂ gegenüber der Variante 2

Erdgaskessel			
	Energieerzeugung [MWh/a]	CO₂-Faktor [kg/kWh]	CO₂-Emissionen [t/a]
Erdgas	2000	0,247	494

Tabelle 5-12: CO₂-Emissionen Erdgaskessel

Der CO₂ Ausstoß, der aufgrund des aktuellen Erdgasverbrauches von 1.738 MWh entsteht, liegt bei ca. 429 t CO₂. In diesem Wert sind die potentiell mitzuversorgenden Haushalte nicht enthalten.

5.5 Betreibermodelle:

Für den Betrieb der Energiezentrale und des Nahwärmenetzes kommen verschiedene Betreibermodelle in Frage:

- Contractor (externes Unternehmen)
- Ausgliederung (Wärme GmbH)
- Genossenschaft (PreBEG)

Details zu diesem Thema wurden detailliert bereits in dem Abschlussbericht „Machbarkeitsstudie 100 % regenerativ“ der MNP Ingenieure (2018) beschrieben. Die Rahmenbedingungen haben sich nicht verändert, sodass diese weiterhin gelten.

6 Zusammenfassung

In der durchgeführten Umsetzungsuntersuchung wurden verschiedene Ausbauschritte zur Realisierung eines Nahwärmenetzes in dem Quartier Lohmühlenweg betrachtet. Als Grundlage wurde der aktuelle Wärmebedarf der Schulen aufgenommen und der zusätzliche Wärmebedarf für die anliegenden Wohnhäuser abgeschätzt. Der Gesamtwärmebedarf beträgt aktuell 1,74 GWh/a. Die für das gesamte Quartier notwendige Heizwärmeleistung wurde mit etwa 1.500 kW abgeschätzt.

Im Rahmen der Modernisierung der Wärmeversorgung wurden drei unterschiedliche Ausbauschritte betrachtet.

In dem ersten Schritt wurde untersucht inwiefern das Verlegen der Wärmeleitungen im Zusammenhang mit der kurzfristigen Sanierung des Lohmühlenweges sinnvoll ist. Das Ergebnis der Untersuchung ist, dass das Verlegen der Nahwärmeleitungen im Rahmen der Sanierungsarbeiten am Lohmühlenweg sinnvoll ist. Eine Verlegung in den wasser-gebundenen Flächen am Straßenrand ist nicht in allen Bereichen möglich. Im nördlichen Bereich müssen die Leitungen aus Platzgründen auch unterhalb der Fahrbahn verlegt werden. Die Kostenersparnis durch die Verlegung der Nahwärmeleitungen wird auf etwa 350.000 € geschätzt.

In einem zweiten Schritt wurde eine kurzfristig umsetzbare Lösung für die Wärmeversorgung der beiden Neubauten Mensa und Kita „Rasselbande“ erarbeitet und verglichen. Diese beiden Gebäude müssen energetische Vorgaben aus den Energienachweisen erfüllen. Dabei hat sich gezeigt, dass eine lokale Versorgung durch zwei Hauswärmepumpen am sinnvollsten ist. Die Spitzenlasten im Winter können weiter durch die vorhandenen Gaskessel abgedeckt werden. Auf diese Weise lässt sich der Anteil der regenerativ erzeugten Energie steigern und damit der gemittelte Primärenergiefaktor verbessern, sodass die Vorgaben aus dem Energienachweis eingehalten werden. Die zweite Variante mit der Aufstellung einer zentralen Großwärmepumpe ist sehr teuer und steht im Konflikt mit dem eigentlichen Plan das gesamte Quartier mit an ein zentrales Wärmenetz anzubinden. Außerdem sollte in diesem Zusammenhang die Energieversorgung der gesamten Friedrich Ebertschule betrachtet werden.

In einem dritten Schritt wurden zwei Vorschläge für die Erzeugung regenerativer Wärme für das gesamte Quartier in einem Vollkostenvergleich gegenübergestellt. In beiden Varianten wird ein Großteil der Wärme durch Holzpelletkessel erzeugt. In Variante 1 ist zusätzlich eine Solarthermieanlage als Ergänzung vorgesehen. In der zweiten Variante wird zur Deckung der Grundlast eine Wärmepumpe eingesetzt. Die Anschaffungskosten sind bei Variante 2 höher als bei Variante 1. Die jährlichen verbrauchsgebundenen Kosten sowie die Summe der Gesamtjahreskosten sind bei der Variante mit der Großwärmepumpe ebenfalls höher. Deutlich profitieren könnte die Variante 2 jedoch von einer höheren Eigenstromerzeugung aus PV Strom. Auf diese Weise könnten die Stromkosten gesenkt werden.

Da die Preisschwankungen bzgl. der aktuellen und zukünftigen politischen und wirtschaftlichen Lage unsicher sind, können die ermittelten Kosten entsprechend der Entwicklung der Energie und Holzpelletpreise abweichen.

Es ist zu beachten, dass die beschriebenen Möglichkeiten nur eine grobe Vordimensionierung möglicher Wärmeerzeugungsanlagen und Wärmenetze der jeweiligen Varianten darstellen. Für die detaillierte Planung und Auslegung sollten Simulationen und genaue Berechnungen durchgeführt werden.

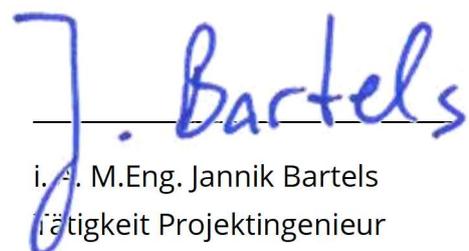
Hannover, 22.09.2022

BIM2B Ingenieurgesellschaft mbH



Dipl.-Ing. Axel Bürkner
(Beratender Ingenieur IngKN)
Geschäftsführung





i. A. M.Eng. Jannik Bartels
Tätigkeit Projekt-Ingenieur

