



**22051 - Vivawest Wohnen GmbH,  
Neubau von 11  
Mehrfamilienhäusern**

Bauherr:

Vivawest Wohnen GmbH  
Nordsternplatz 1  
45899 Gelsenkirchen

Architekt:

CKRS Architektengesellschaft  
Mbh  
Schlesische Str. 29-30  
10997 Berlin

**Energiestudie Wärmeversorgung  
mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

Aufgestellt:

Ingenieurgemeinschaft  
Dess+Falk GmbH  
Merianstraße 45  
90409 Nürnberg

Tel.: 0911 / 9 51 76-0

Fax: 0911 / 9 51 76-80

Nürnberg, den 29.05.2024

22051/V. Lubkoll

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Allgemein .....</b>	<b>3</b>
1.1. Aufgabenstellung .....	3
1.2. Projektbeschreibung .....	3
<b>2. Energiestudie Wärmeversorgung .....</b>	<b>4</b>
2.1. Allgemein.....	4
2.1.1. Gesetzliche Vorgaben.....	4
2.1.2. Wärmebedarf Quartier .....	5
2.1.3. PV- Flächen auf den Dächern .....	5
2.2. Variantenaufstellung .....	7
2.2.1. Anschluss an ein Fernwärmenetz .....	7
2.2.2. Zentrale Wärmeversorgung über Biomasse / Pellets (Variante 1) .....	7
2.2.3. Zentrale und dezentrale Varianten mit Erdsonden und Wärmepumpe (Variante 2) .....	8
2.2.4. Wärmeversorgung mittels Eisspeicher (Variante 3) .....	9
2.2.5. Energiepfähle mit Wärmepumpe (Variante 4).....	10
2.2.6. Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen je Gebäude (Variante 5) .....	10
2.3. Energetische Berechnung - Verbrauch.....	12
2.4. Energetische Berechnung – CO <sub>2</sub> -Ausstoß Wärmeerzeugung.....	13
2.5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	13
2.5.1. Bedarfsgebundene Kosten.....	14
2.5.2. Betriebsgebundene Kosten .....	14
2.5.3. Investitionskosten .....	15
2.5.4. Wirtschaftlicher Vergleich der Varianten.....	17
<b>3. Fazit und Empfehlung.....</b>	<b>19</b>

## 1. Allgemein

### 1.1. Aufgabenstellung

Das Büro Dess+Falk GmbH wurde für die Ausarbeitung einer Energiestudie zur Festlegung der Wärmeversorgung innerhalb des Quartiers beauftragt. Die Studie soll sowohl zentrale als auch dezentrale Versorgungsvarianten gegenüberstellen.

Folgende Teilbereiche sollen dabei untersucht werden:

- Aufzeigen von möglichen Varianten (zentral und dezentral) zur klimaneutralen Energieeigenversorgung unter Berücksichtigung von technischen, wirtschaftlichen, gesetzlichen und ökologischen Aspekten und Risiken.
- Berücksichtigung der Technologien: Fernwärme, Pellet, Eisspeicher, Erdsonden, Erdpfähle, Luft-Wasser-Wärmepumpen
- Grobe schematische Darstellung der Varianten
- Prüfung der Nebenbaubedingungen (Genehmigungspflicht, Infrastruktur, Platzverhältnisse, etc.)
- Erstellung einer Grobkostenschätzung für jede Variante
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten und der notwendigen PV-Anlagen auf den Dächern der Gebäude
- Betrachtung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes für die Wärmeversorgungsvarianten
- Zusammenfassung der Ergebnisse in einem Bericht

### 1.2. Projektbeschreibung

Die Vivawest Wohnen GmbH beabsichtigt, folgende Maßnahme zu errichten:

„QBD – Quartier Bergmannsgrün Dortmund – Neubau von 11 Mehrfamilienhäusern“.

Das Bauvorhaben befindet sich in den Flurstücken 338,359 der Huckarder Straße und Walkmühlenweg, Dortmund.

Das Quartier soll als Modellquartier nach ökologischen, klimagerechten und nachhaltigen Gesichtspunkten entwickelt werden.

Es besteht aus 11 Mehrfamilienhäuser mit 2 – 4 Zimmer-Wohnungen von denen ein Teil als öffentlich geförderter Wohnraum umgesetzt wird. Die frei finanzierten Gebäude sollen nach dem Energiestandard Effizienzhaus 40 Nachhaltigkeit (NH) entsprechend den Anforderungen des „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude“ (QNG) errichtet werden.

Die elf Gebäude gliedern sich in 4 Gebäudetypen auf – Holland, Concordia 19 WE, Concordia 23 WE und Helene. Innerhalb des Gebäudetyps gibt es zusätzlich geringe Abweichungen.

## 2. Energiestudie Wärmeversorgung

### 2.1. Allgemein

#### 2.1.1. Gesetzliche Vorgaben

##### Gebäudeenergiegesetz (GEG)

Mit dem GEG will Deutschland die Energiewende im Gebäudesektor einleiten, um den Klimaschutz zu stärken, die Abhängigkeit vom Import fossiler Energien zu verringern und Verbraucher vor Preissprüngen bei Öl und Gas schützen.

Aktuell wird mehr als ein Drittel des gesamten Energiebedarfs in Deutschland für die Beheizung von Gebäuden und die Erzeugung von Warmwasser verbraucht. Dabei werden noch ca. 70 % der Haushalte mit Erdgas oder Erdöl beheizt. Um die Klimaziele zu erreichen ist ein Umstieg auf Erneuerbare Energien zwingend.

Ab 2024 müssen Heizanlagen in Neubauten daher zu mindestens 65% mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Folgende Heizsysteme in Neubauten können dabei für die Erreichung der Ziele eingebaut werden:

Anschluss an Wärmenetz, Solarthermie, Wärmepumpe, Biomasseheizung, Stromdirektheizung und Hybrid-Lösungen (Kombination aus erneuerbar und nichterneuerbar).

##### Neubaustandards Stadt Dortmund

Um die Anforderungen im Bereich Klimaschutz einzuhalten, haben einige Städte und Gemeinden bereits Beschlüsse für klimagerechtes Bauen entwickelt. Auch die Stadt Dortmund strebt dies an und hat folgende Beschlüsse gefasst.

1. "Klimafreundlicher Neubau (KFN)", davon ausgenommen ist der geförderte Mietwohnungsbau, der gemäß den Wohnraumförderbestimmungen – WFB – des Landes NRW den Standard des Effizienzhauses 55 nach BEG einhalten muss.
2. Solardachpflicht: Bei Hauptgebäuden mit Flachdächern muss die Modulfläche der Solaranlagen mindestens 40% der Bruttodachfläche betragen. Wird gleichzeitig auch eine Dachbegrünung festgesetzt, ist beides miteinander zu kombinieren.
3. Anschluss an Fern- oder Nahwärme. Dabei sollen keine verbrennungsbasierten Technologien verwendet werden.

Folgende Eckpunkte sind für das Neubauvorhaben Bergmannsgrün, BA II geplant bzw. werden berücksichtigt:

- Zu 1.: Für das Bauvorhaben wurde bereits am 13.02.2023 Fördermittel für den Energiestandard Effizienzhaus 40 Nachhaltigkeit (NH) entsprechend den Anforderungen des „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude“ (QNG) beantragt und am 20.02.2023 zugesagt. Dementsprechend soll das Bauvorhaben umgesetzt werden, da andernfalls die Fördermittel nicht in Anspruch genommen werden können.
- Mit der Antragsstellung im Februar 2023 gilt die Übergangsregelung des QNG, sodass dieselben Anforderungen an die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung angesetzt werden, wie im Förderprogramm KFN. Im Ergebnis wird trotz der unterschiedlichen Förderung ein

gleichwertig nachhaltiger Neubau umgesetzt. Eine CO<sub>2</sub>-Bilanz wird im Rahmen der Zertifizierung nach QNG erstellt.

zu 2.: Die Thematik wird im B-Plan festgesetzt und dementsprechend beim Bauvorhaben umgesetzt.

zu 3.: Im Vergleich mit den in der Energiestudie geprüften Varianten eines Nahwärmenetzes wird die Umsetzung von dezentralen Luft-Wasser-Wärmepumpen insgesamt aufgrund der Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit, einfacheren Umsetzbarkeit und Flexibilität für die Wärmeversorgung des Quartiers empfohlen. Die Herleitung ist den folgenden Ausführungen zu entnehmen.

### 2.1.2. Wärmebedarf Quartier

Für die einzelnen Gebäude wird eine Heizlast nach DIN EN 12831 ermittelt. Diese stellt mit einem Zuschlagsfaktor für die Beheizung mittels Wohnungsstationen die benötigte Heizleistung je Gebäude und damit für das gesamte Quartier dar.

Folgende benötigte Heizlasten je Gebäudetyp wurden ermittelt:

- HE 1:	28 kW
- HE 2-3:	33 kW
- HO 1-3:	38 kW
- CO 1-4:	37 kW
- CO5:	44 kW
- Gesamt:	<b>400 kW</b>

Im Anschluss wird der Wärmebedarf in kWh/a simuliert. Hierbei wird das Jahr 2019 als Referenzjahr herangezogen und tatsächliche Wetterdaten zu Grunde gelegt. Das Jahr 2019 war ein vergleichsweise kaltes Jahr, weshalb in der Berechnung höhere Verbrauchswerte entstehen. Dies ist jedoch erwünscht, da das Ergebnis eher den Schlechtpunkt aufzeigt und somit die Berechnung sehr konservativ erfolgt.

In der Simulation wird der Wärmebedarf für das gesamte Quartier stündlich ermittelt und aufgestellt. Somit ergibt sich ein detaillierter Wärmelastgang, der in der weiteren Bearbeitung herangezogen werden kann.

Der Wärmebedarf des Quartiers wird mit 1.106.023 kWh/a ermittelt.

### 2.1.3. PV- Flächen auf den Dächern

Die elf Mehrfamilienhäuser im Quartier werden mit einem Flachdach ausgeführt. Zusätzlich erhalten einige der Häuser eine Dachterrasse über einen Teilbereich der Dachfläche (Staffelgeschoss). Die übrige Dachfläche wird extensiv begrünt und vollflächig (ausgenommen zusätzliche technische Einbauten wie Lüftung) mit PV-Modulen belegt.

Diese Belegung ist nicht nur Vorgabe der Stadt Dortmund, sondern muss auch für die Einhaltung des Wärmeschutznachweises erfolgen. Die Größe der PV-Flächen wurden daher anhand des Wärmeschutznachweises berechnet und entsprechend auf dem Dach platziert. Um die notwendige

Fläche einhalten zu können, wurden zudem in einigen Gebäudetypen auch Teile des Staffelgeschoss-Daches hergenommen und damit in diesem Bereich die Dachterrasse verkleinert.

Eine PV-Berechnung je Gebäudetyp wurde durchgeführt.

Die PV-Flächen setzen sich wie folgt zusammen:

- HE 1-3:	121 m <sup>2</sup>	26,04 kWp
- HO 1-3:	148, m <sup>2</sup>	31,92 kWp
- CO 1-4:	125 m <sup>2</sup>	26,88 kWp
- CO5:	140,6 m <sup>2</sup>	30,24 kWp

Für die nachfolgenden Berechnungen werden die PV-Flächen der einzelnen Gebäude zusammengefügt und so ein gesamter PV-Verlauf bzw. eine PV-Stromerzeugung ermittelt.

Die gesamte PV-Anlage kann 266.645 kWh im Jahr Strom erzeugen.

## 2.2. Variantenaufstellung

Nachfolgend werden alle betrachteten Varianten der Wärmeversorgung aufgeführt und näher erläutert.

### 2.2.1. Anschluss an ein Fernwärmenetz

Zwar gibt es in Dortmund ein umfangreiches Fernwärmenetz, allerdings ist dies im Bereich des Quartiers aktuell nicht vorhanden. Nach Rücksprache mit dem Fernwärmenetzbetreiber DEW21 ist dies auch in der nahen Zukunft für den Walkmühlenweg nicht geplant. Die Variante Fernwärmeanschluss ist daher nicht möglich und wird in der weiteren Bearbeitung nicht berücksichtigt.

### 2.2.2. Zentrale Wärmeversorgung über Biomasse / Pellets (Variante 1)

Obwohl nach Aussage der Stadt Dortmund auf verbrennungsbasierte Technologien wie Pelletheizungen verzichtet werden sollen, wird diese Variante hier als Vergleichsvariante nachfolgend aufgeführt.

Diese Variante beinhaltet eine große Pelletzentrale für das gesamte Areal und ein Nahwärmenetz innerhalb des Quartiers zur Anbindung der einzelnen Gebäude. Hierfür müsste ein eigenes Gebäude mit Abgaskamin und großem Pelletslagerraum ermöglicht werden. Das zudem von der Straße aus gut anfahrbar ist, um Pelletlieferungen mittels Tankwagen zu ermöglichen. Eine Pelletheizung würde automatisch hohe Systemtemperaturen mit sich bringen, die dann innerhalb des jeweiligen Gebäudes für das Niedrigtemperatursystem Fußbodenheizung heruntergemischt werden muss.

Das Areal hat mit 400 kW Heizlast einen Wärmebedarf von 1.106.023 kWh/a und benötigt damit über 230 Tonnen Pellets. Dies erfordert bei einer dreimaligen Lieferung von Pellets im Jahr einen Lagerraum von ca. 60 m<sup>2</sup> zusätzlich zu den Räumlichkeiten zur Aufstellung der Pelletkessel.

Wärmebedarf:	1.106.023 kWh/a
Energiedichte:	4,8 kWh/kg
Schüttdichte:	625 kg/m <sup>3</sup>
Füllung Lagerraum:	2/3

Um die Versorgungssicherheit besser gewährleisten zu können und zu dem ein besseres Teillastverhalten zu erreichen, ist es sinnvoll mit zwei identischen Pelletkessel mit je 200 kW zu arbeiten. Eine notwendige Heizzentrale zur Aufstellung der Kessel inklusive Pufferspeicher, Druckhaltung und Verteilung erfordert somit weitere 80m<sup>2</sup>.

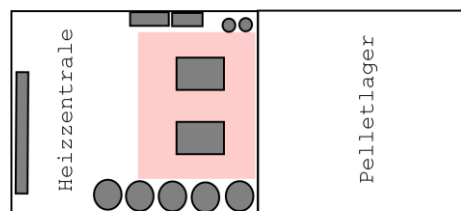


Abbildung 1: Pelletlager mit Heizzentrale 140 m<sup>2</sup>

Eine Aufstellung innerhalb der Keller ist aufgrund der notwendigen Größe nicht möglich. Daher wird mit einer unterirdischen Heizzentrale geplant, die sich unterhalb der „Urban Gardening“-Fläche

P:\22051 Neubau MFH Dortmund, Bergmannsgrün 2.

BA\06\_0\_Zielfindungsphase\_Lph0\05\_Dokumentation\_und\_Abgabe\2023-11-24\_Energiestudie\22051\_Energiestudie\_Bericht - 4.Version\_CO2.docx



zentral im Areal befinden kann. Von dort wird ein Nahwärmenetz aufgebaut und die einzelnen Gebäude angeschlossen (vgl. Abbildung 2).



**Abbildung 2: Aufbau Nahwärmenetz mit Pellet-Heizzentrale**

Bei einer Variante mittels Pelletkessel sind neben dem Platzbedarf und der Möglichkeit der Anlieferung zudem folgende Parameter zu berücksichtigen. Pelletanlagen haben einen vergleichsweise hohen Wartungs- und Bedienungsaufwand und es ist eine brennstoffbasierende Technologie, die zu einer geteilten öffentlichen Meinung hinsichtlich Nachhaltigkeit und Akzeptanz führt.

### **2.2.3. Zentrale und dezentrale Varianten mit Erdsonden und Wärmepumpe (Variante 2)**

Diese Variante beinhaltet Erdsonden bis zu einer Tiefe von 100 m. Nach Aussagen des Wärmetlas sind Erdsondenbohrungen im Bereich des Bauvorhabens grundsätzlich möglich. Nach der dort genannten Entzugsleistung (40W/m) würden pro Gebäude ca. 7 – 11 Bohrungen benötigt, um die notwendige Wärme abzudecken. Dies bedeutet für das gesamte Quartier eine Bohrungsanzahl von ca. 106 Bohrungen.

Bei der Positionierung der Sonden müssen sowohl Abstände zu Gebäuden als auch zu Baumbestand, Straßen und Versorgungsleitungen berücksichtigt werden.

Eine Wärmeversorgung mit Erdsonden kann entweder dezentral je Gebäude erfolgen oder als zentralere Variante mit einer Heizzentrale. Dargestellt ist hier eine zentrale Variante, die das benötigte Erdsondenfeld darstellt. Erkennbar ist, dass eine sehr große Fläche des Quartiers notwendig ist, um die notwendige Wärmeversorgung sicherzustellen (vgl. Abbildung 3). Die hohe Anzahl an Sonden bringt eine hohe Anzahl von Leitungen mit sich, die zusätzlich zum beim Pelletkessel aufgeführten Nahwärmenetz in den Versorgungsstrassen (Straßen) verlegt werden müssen. Der Aufbau des Nahwärmenetzes ist identisch zur obigen Variante.





**Abbildung 3: Zentrale Erdsonden-Anlage**

Für die Aufstellung der Wärmepumpen und die übrigen Bauteile sind wiederum ca. 80m<sup>2</sup> Fläche notwendig.

Eine finale Aussage zur Umsetzung von Bohrungen muss durch einen Geologen geprüft werden. Zusätzlich muss für die Ermittlung der notwendigen Sondenzahlen ein sogenannter Thermal Response Test, also eine Probebohrung mit Messung sowie eine Simulation umgesetzt werden. Dies erfordert eine entsprechende Genehmigung.

Ein großer Vorteil dieser Variante ist die Möglichkeit des Kühlens im Sommer. Erst dann können die Erdsonden effizient arbeiten, da sie sich im Sommer regenerieren, um im Winter wieder ausreichend Wärme zur Verfügung stellen zu können. Eine Kühlung der Wohnungen ist von Seiten der Bauherrschaft nicht gewünscht. Dieser Punkt mindert die Effizienz des Gesamtsystems, die in der notwendigen Simulation ebenfalls berücksichtigt werden muss.

Allerdings muss an diesem Punkt auch erwähnt werden, dass zwar Erdsonden mit Kühlfunktion deutlich effizienter laufen als im reinen Heizbetrieb, aber durch eine zusätzliche Kühlfunktion natürlich ganzjährig Strom in großer Menge benötigt wird, was wiederum die Gesamteffizienz leicht verschlechtern würde. Zudem erhöhen sich die Investkosten, da im Sommer ein gleichzeitiges Kühlen (Raumkühlung) und Heizen (Warmwasser) notwendig ist und daher einige Änderungen im Aufbau des Erzeuger- und Verbraucherkeises erfolgen muss. Das heißt die Option der Kühlung wäre zwar für die Effizienz der Anlage sinnvoll, aber ob eine Umsetzung gesamtwirtschaftlich betrachtet auch sinnvoll ist, ist nicht unbedingt gegeben.

### **2.2.4. Wärmeversorgung mittels Eisspeicher (Variante 3)**

Als weitere Variante kann die Umsetzung eines Eisspeichers mit Wärmepumpe aufgezeigt werden. Auch diese Variante wurde sowohl als dezentrale Varianten je Gebäude als auch als zentralere Variante mit mehreren Heizzentralen untersucht und ist nachfolgend als zentrale Variante näher erläutert.

Auch der Eisspeicher arbeitet besonders effizient, wenn die angeschlossenen Gebäude im Sommer gekühlt und im Winter beheizt werden können. Anderenfalls, wie in diesem Bauvorhaben, müssten große Regenerationsflächen bereitgestellt werden, da im Gegensatz zu den Erdsonden keine selbstständige Regeneration des Eisspeichers erfolgen kann. Hier wurden Regenerationsflächen wie Energiezäune, Absorberschlangen, Solarthermie, PVT-Module und Tischkühler untersucht. Die nachfolgende Variante stellt die notwendige Fläche von PVT-Modulen beispielhaft dar (Abbildung 4).



**Abbildung 4: Zentrale Eisspeicher-Anlage mit PVT-Modulen**

PVT-Module haben den Vorteil, dass Sie neben Strom auch Wärme liefern können, die hier zur Regeneration herangezogen werden kann. Allerdings sind die Module deutlich teurer und eine aufwändige Verbindung der Module bis zur Heizzentrale ist notwendig. Der Aufbau des anschließenden Nahwärmenetzes erfolgt wiederum identisch zu Variante 1.

#### **2.2.5. Energiepfähle mit Wärmepumpe (Variante 4)**

Die noch recht neue Variante mit dem Einsatz von Energiepfählen wurde ebenfalls untersucht. Energiepfähle funktionieren ähnlich wie Erdsonden. Sie sind in ihrem Durchmesser nur deutlich größer und weniger tief, nutzen aber auch die Wärme aus der Erde.

Für das Quartier ist dies mit einer Umsetzung mit einer Heizzentrale möglich. Auch hier sind Probebohrungen durchzuführen und ein Geologe einzubeziehen. Die Umsetzung dieser Variante durch eine ausführende Firma ist aktuell aufgrund der neuen Technologie noch sehr beschränkt. Für die Versorgung des Quartiers sind nach aktuellem Stand sieben Energiepfähle notwendig (Abbildung 5).



**Abbildung 5: Zentrale Energiepfähle**

#### **2.2.6. Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen je Gebäude (Variante 5)**

Zuletzt wurde noch eine Variante mit Luft-Wasser-Wärmepumpen untersucht. Die Aufstellung erfolgt je Gebäude im Außenbereich und damit dezentral (Abbildung 6). So werden Kosten für Nahwärmeleitungen innerhalb des Quartiers eingespart. Die Wärmepumpen werden überwiegend mit der auf dem Dach befindlichen PV-Anlage mit Strom versorgt, um die Betriebskosten so gering wie

möglich zu halten. Die Aufstellung erfordert eine genaue Abstimmung mit dem Außenanlagenplaner zwecks Optik, Schall und Abstand zur Heizzentrale je Gebäude.



**Abbildung 6: Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen**

Um die Nachhaltigkeit dieser Variante zu steigern und zukunftssicher zu sein, wird mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe mit dem natürlichen Kältemittel R290, Propan, geplant. Dieses hat einen sehr niedrigen GWP-Wert (Global Warming Potential), erfordert aber zusätzliche Sicherheitsbestimmungen und technische Anforderungen an die Aufstellung.

### 2.3. Energetische Berechnung - Verbrauch

Neben der Simulation für die Ermittlung des Wärmebedarf (vgl. Kapitel 2.1.2) für das gesamte Quartier werden die einzelnen Varianten hinsichtlich ihres Verbrauchs simuliert.

Hierbei wird für jede Variante ermittelt, wieviel Strom bzw. Pellets benötigt werden, wie der erzeugte Strom aus der PV-Anlage genutzt werden kann, welcher Stromanteil als Überschuss ins Netz eingespeist werden muss und welcher Anteil aus dem Stromnetz bezogen werden muss.

Abbildung 7 sowie Tabelle 1 zeigen den Wärmebedarf des Quartieres und damit den der Variante 1 – Pelletkessel auf. Wird der notwendige Wärmebedarf nun durch eine Wärmepumpe bereitgestellt, sind bei den Varianten 2 – 5 zwischen ca. 200.000 kWh/a und ca. 350.000 kWh/a Strom erforderlich. Die Unterschiede im Stromnetzbezug lassen sich auf die Effizienz der einzelnen Technologie zurückführen. Die Luft-Wasser-Wärmepumpen haben einen deutlich geringeren COP-Wert (Effizienzwert) und damit wird ein höherer Strombedarf benötigt. Überschüsse aus der PV-Anlage werden ins Netz eingespeist. Bei Variante 1 wird dabei der vollständige erzeugte Strom ins Netz eingespeist. Zur Vergleichbarkeit wurde in dieser Simulation der erzeugte PV-Strom nur für die Heizung hergenommen. In der Realität sollte geprüft werden, ob dieser für den übrigen Allgemestrom und für beispielsweise die Elektromobilität genutzt werden.

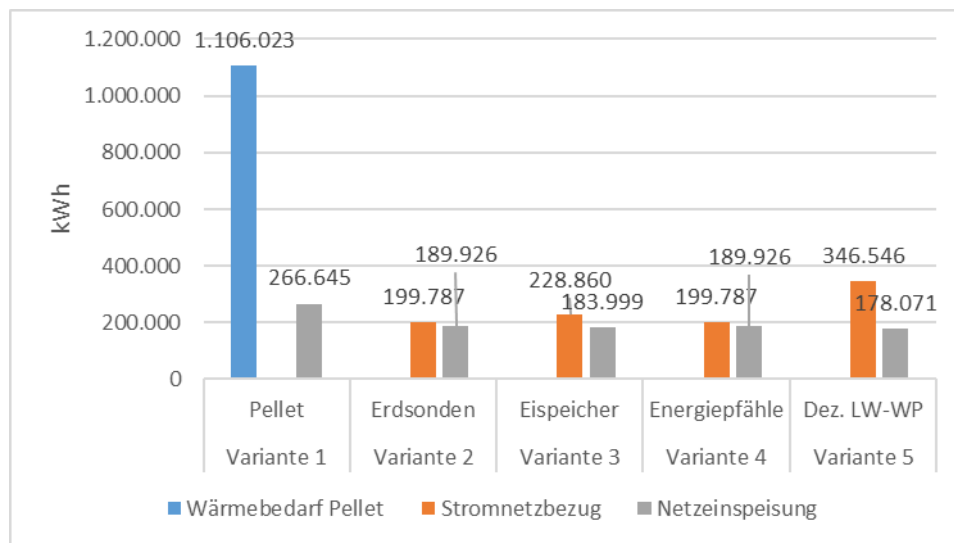


Abbildung 7: Verbrauchsberechnung Varianten pro Jahr

Tabelle 1: Verbrauchskennzahlen je Variante

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
	Pellet	Erdsonden	Eispeicher	Energiepfähle	Dez. LW-WP
Wärmebedarf Pellet	1.106.023				
Strombedarf gesamt		276.506	311.506	276.506	435.120
Eigenverbrauch		76.719	82.647	76.719	88.574
Stromnetzbezug		199.787	228.860	199.787	346.546
Stromerzeugung	266.645	266.645	266.645	266.645	266.645
Netzeinspeisung	266.645	189.926	183.999	189.926	178.071



## 2.4. Energetische Berechnung – CO<sub>2</sub>-Ausstoß Wärmeerzeugung

Das Thema CO<sub>2</sub>-Ausstoß gewinnt in zahlreichen Bereichen des Lebens und besonders im Energiesektor immer mehr an Bedeutung. Daher wird dieses Thema auch immer mehr in Qualitätsanforderungen in der Baubranche gefordert bzw. abgefragt. Das für dieses Quartier angestrebte „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude“ (QNG) fordert eine vollständige Öko-Bilanzierung über den gesamten Lebenszyklus. Auch wird dieses Thema vermehrt in Gesetzen und Verordnungen aufgeführt, so auch bei der Stadt Dortmund.

Die vollständige Öko-/CO<sub>2</sub>-Bilanzierung des Gebäudequartieres kann erst im weiteren Verlauf der Planung bzw. der Ausführung tatsächlich erfolgen. Aufgrund der Wichtigkeit wird aber bereits im Zuge dieser Studie der CO<sub>2</sub>-Ausstoß je Variante in Bezug auf die Wärmeerzeugung ermittelt.

Hierzu werden die vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle im Jahr 2023 (aktuelle Ausgabe) veröffentlichten CO<sub>2</sub>-Faktoren für den jeweiligen Energieträger herangezogen. Diese sind bezogen auf das betrachtete Quartier folgende:

- Pellet: 0,036 t<sub>CO2</sub>/MWh
- Strom (Energiewechsel zu Strom): 0,107 t<sub>CO2</sub>/MWh

Die unter Abschnitt 2.3 ermittelten Verbrauchskennwerte je Variante werden mit diesen Faktoren multipliziert und so ein CO<sub>2</sub>-Ausstoß der jeweiligen Wärmeerzeugungs-Variante pro Jahr ermittelt. Dabei muss der Wärmebedarf aus Variante 1 mittels Pellets mit dem jeweiligen Stromnetzbezug der übrigen Varianten verglichen werden. Da der Stromertrag durch die installierte PV-Anlage bei allen Varianten gleich ist, wird dieser hier nicht berücksichtigt.

**Tabelle 2: CO<sub>2</sub>-Ausstoß Wärmeerzeugung je Variante im Jahr**

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
	Pellet	Erdsonden	Eispeicher	Energiepfähle	Dez. LW-WP
Wärmebedarf Pellet (kWh)	1.106.023				
Stromnetzbezug (kWh)		199.787	228.860	199.787	346.546
CO <sub>2</sub> -Ausstoß (t CO <sub>2</sub> )	39,82	21,38	24,49	21,38	37,08

Trotz des deutlich geringeren CO<sub>2</sub>-Faktors bei Pellets mit 0,036 t<sub>CO2</sub>/MWh gegenüber 0,107 t<sub>CO2</sub>/MWh wird erkennbar, dass alle strombasierten Wärmepumpen-Varianten (Varianten 2-5) weniger CO<sub>2</sub> im Jahr ausstoßen.

## 2.5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Als Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die ermittelten Verbrauchswerte herangezogen und daraus bedarfsgebundene Kosten ermittelt. Zusätzlich werden die Investitionskosten und die Betriebskosten ermittelt und die Varianten miteinander verglichen.

Die Wirtschaftlichkeit wird über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren betrachtet. Preissteigerungen sind in die Ausarbeitung nicht eingeflossen, da diese aufgrund der aktuellen Entwicklungen schwer vorauszusagen sind.

### 2.5.1. Bedarfsgebundene Kosten

Aus den Verbrauchswerten (Kapitel 2.3) werden die bedarfsgebundenen Kosten, also alle Energiekosten für Strom und Pellets je Variante und Jahr ermittelt und entsprechende Gewinne durch eine Stromnetzeinspeisung aufgenommen.

Für die Berechnung werden nachfolgende Parameter festgelegt:

- Stromnetzbezug: 0,40 €/ kWh
- Netzeinspeisung: 0,06 €/kWh
- Pelletpreis: 0,072 €/kWh

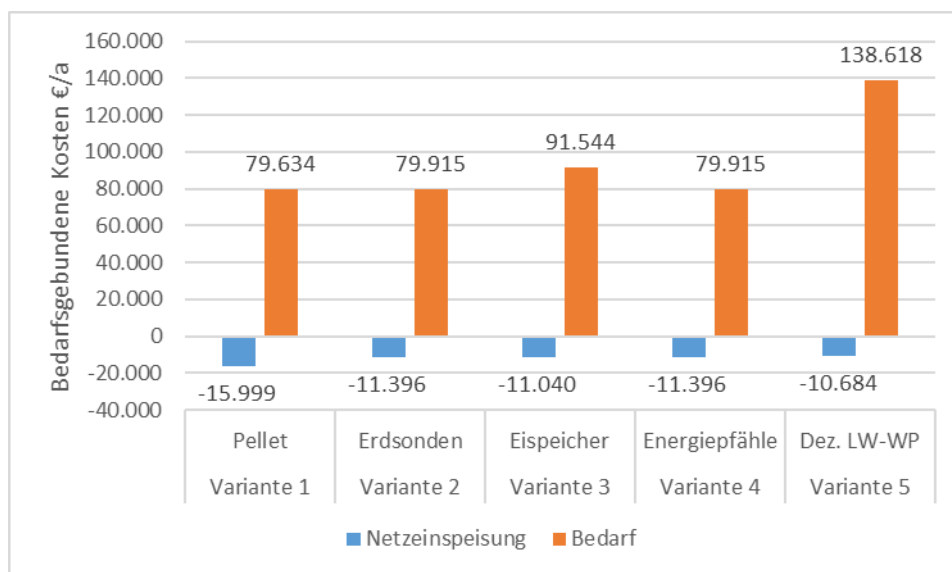
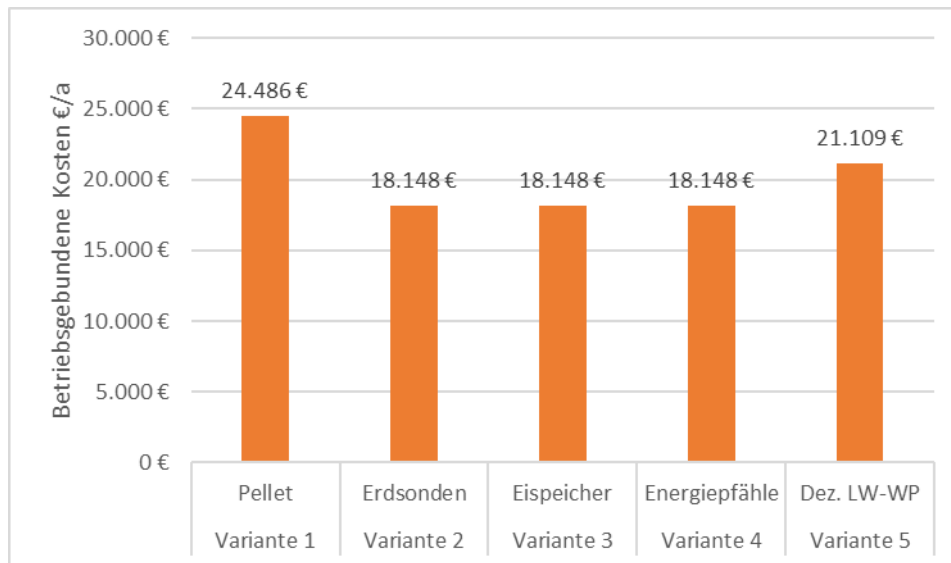


Abbildung 8: Bedarfsgebundene Kosten im Jahr

Erkennbar ist, dass Variante fünf mit den dezentralen Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Abstand den höchsten Kostenpunkt im Jahr aufweisen. Dies liegt wiederum an der Effizienz dieser Wärmepumpe. Zusätzlich ist ersichtlich, dass die übrigen Varianten und dabei besonders die Varianten 1-2 und 4 nahezu identisch sind, obwohl sich bei Variante 1 die Kosten aus Pellets zusammensetzen und nicht aus einem Stromparameter.

### 2.5.2. Betriebsgebundene Kosten

Bei den betriebsgebundenen Kosten handelt es sich um Kosten, die für Wartung, Bedienung und Instandhaltung der Anlagen notwendig sind. Auch diese werden zu Beginn je Jahr ermittelt.



**Abbildung 9: Betriebsgebundene Kosten je Variante und Jahr**

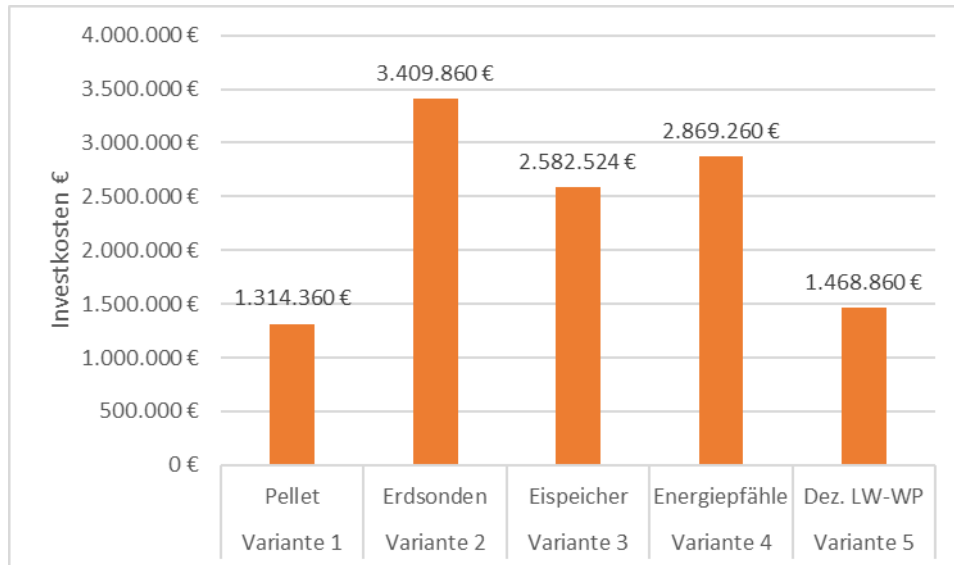
Dabei sind die Varianten 2-4 im Bereich der betriebsgebundenen Kosten identisch, da es sich vom Wärmeerzeuger um die gleiche Technologie sowie die gleiche Anzahl handelt. Bei der dezentrale Variante 5 entstehen hier leicht höhere Kosten, da es sich um 11 einzelne Gebäude handelt, die getrennt voneinander gewartet werden müssen. Der höchste Anteil an betriebsgebundenen Kosten entsteht beim Pelletkessel. Hier sind zum einen die Kosten für die Bedienung z.B. aufgrund des notwendigen dauerhaften Ascheaustrages erhöht und zum anderen sind diese Anlagen störanfälliger.

### 2.5.3. Investitionskosten

Die Investitionskostenaufstellung erfolgt anhand von Herstellerangaben und Erfahrungswerten seitens Dess+Falk. Für die hochbauseitigen Kosten (Gebäude Heizzentrale) wurden Kosten durch den Architekten CKRS selbst beigesteuert.

Die Investitionskostenaufstellung entspricht einer Grobkostenschätzung und soll lediglich einen groben Kostenrahmen darstellen. Die Kosten müssen bei der Umsetzung in der jeweiligen Planungsphase detailliert ermittelt werden. Nachfolgend werden die Investitionskosten graphisch dargestellt.





**Abbildung 10: Investitionskosten je Variante**

Bei der Betrachtung der Investitionskosten sind sehr große Unterschiede zu erkennen. Daher werden diese nachfolgend in der Tabelle nochmals detaillierter aufgelistet und im Anschluss näher erläutert. Die Varianten liegen hier zwischen ca. 1,3 Mio € und 3,4 Mio €. Variante 1 und 5 sind auf ähnlich niedrigem Niveau. Besonders Variante 2 mit der Wärmeversorgung über Erdsonden bricht nach oben aus und erfordert ein hohes Investitionsvermögen.

**Tabelle 3: Aufstellung der Investitionskosten**

Investitionskosten	1.314.360 €	3.409.860 €	2.582.524 €	2.869.260 €	1.468.860 €
Wärmeerzeuger	100.000 €	320.000 €	320.000 €	320.000 €	714.000 €
Simulationen	-	60.000 €	60.000 €	60.000 €	-
Lager/Bohrungen/Behälter + Erdaushub	35.000 €	1.640.000 €	805.200 €	1.300.000 €	-
Verbindungsleitungen	-	272.000 €	88.000 €	76.400 €	123.200 €
Nahwärmenetz	151.200 €	151.200 €	151.200 €	151.200 €	-
Heizzentrale Rohbau	200.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €	-
sonstige Komponenten Heizzentralen	282.000 €	282.000 €	282.000 €	282.000 €	115.500 €
PV-Anlage/PVT-Anlage	461.160 €	461.160 €	645.624 €	461.160 €	461.160 €
Anteilige Erdarbeiten Leitungsnetz	42.000 €	52.000 €	59.000 €	47.000 €	44.000 €
Transport / Einbringung	4.500 €	4.500 €	4.500 €	4.500 €	-
MSR	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	-
Inbetriebnahme	8.500 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €	11.000 €

Große Kostenunterschiede sind beim Wärmeerzeuger selbst erkennbar. Pelletkessel mit Ihrem Zubehör sind vergleichsweise günstig. Bei den Varianten 2-4 ist der identische Kostenansatz hinterlegt, da sich die Wärmeerzeuger selbst nicht groß voneinander unterscheiden. Die teuersten Wärmeerzeuger sind die Luft-Wasser-Wärmepumpen. Zwar liegen hier die Kosten bei gleicher Leistung deutlich tiefer als bei den übrigen Wärmepumpen, allerdings handelt es sich hierbei um eine dezentrale Variante und damit um eine deutlich höhere Anzahl an Wärmeerzeugern. Wie bei den meisten Wärmeerzeugern ist der Preis nicht rein von der Leistung, sondern vor allem von der Anzahl der notwendigen Anlagen abhängig.

Der Kostenpunkt Simulation ist, wie bereits bei der Erläuterung der einzelnen Varianten aufgezeigt, bei den Varianten 2-4 notwendig.

Kosten für Bohrungen, Behälter und dazugehörigen Erdaushub sind besonders bei den drei zentralen Wärmepumpen-Varianten 2-4 notwendig. Diese schlagen mit hohen Investitionskosten zu Buche und liegen im Bereich zwischen ca. 800.000 € für die Betonbehälter mit Zubehör der Eisspeicher und ca. 1.650.000 € für die hohe Anzahl an Erdsondenbohrungen bei Variante 2.

Für die Varianten 2-5 sind zusätzliche Verbindungsleitungen zwischen den einzelnen Bestandteilen des Wärmepumpen-Systems notwendig. Bei Variante 5 handelt es sich hier um die Verbindungsleitungen zwischen den jeweiligen Außen- und Inneneinheiten. Bei Variante 2-4 um die Verrohrung der einzelnen Bauteile im Außenbereich untereinander und mit den Erzeugern. Auch hier sind die Kosten bei Variante 2 mit den Erdsonden die höchsten, da hier die größte Anzahl an Einzelbauteilen miteinander verbunden werden muss und das dazugehörige Leitungsnetz entsprechend großflächig verteilt ist.

Da es sich bei den Varianten 1-4 um zentrale Wärmeversorger-Varianten handelt, ist hier der Aufbau eines Nahwärmenetzes innerhalb des Areals notwendig. Hier werden sowohl Kosten für die Leitungen als auch für die Erdarbeiten zur Verlegung berücksichtigt. Zusätzlich muss eine Heizzentrale geschaffen werden. Aufgrund der Platzverhältnisse wird diese unterirdisch geplant. Aufgrund des notwendigen Pelletlagerraum sind hier bei Variante 1 die Kosten am höchsten.

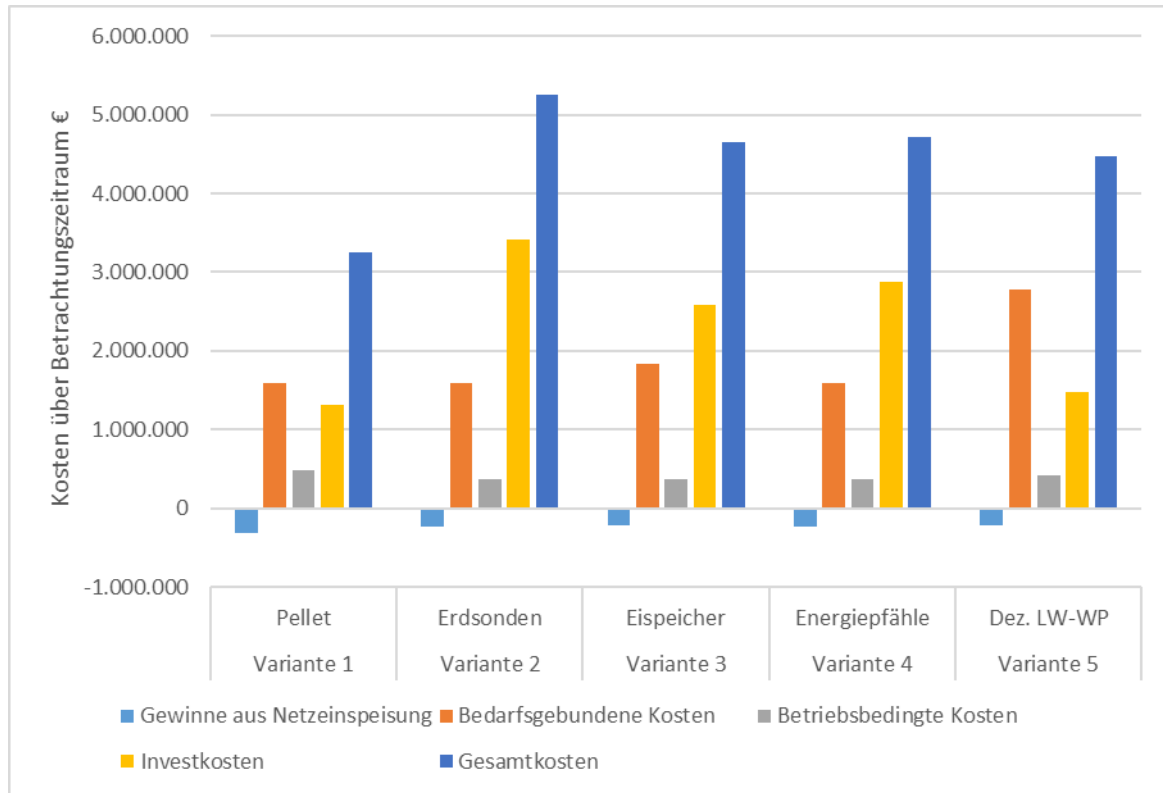
Bei den Kosten für die sonstigen Komponenten in der Heizzentrale spielt sowohl die übergeordnete Heizzentrale bei Variante 1-4 eine Rolle als auch die Heizungsräume in den einzelnen Gebäuden.

Bei den Kosten für die PV- / PVT-Anlage ist nur bei Variante 3 ein Unterschied zu vermerken. Hier werden PVT-Module eingesetzt, die vom Invest deutlich teurer sind.

Die Kostenzusammenstellung schließt mit Kosten für Transport / Einbringung sowie Mess-, Steuer- und Regeltechnik und einer Inbetriebnahme ab.

#### **2.5.4. Wirtschaftlicher Vergleich der Varianten**

Werden nun die Kosten auf den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren berechnet und miteinander verglichen, ergibt sich folgendes Ergebnis.



**Abbildung 11: Gesamtkosten über 20 Jahre je Variante**

In Abbildung 11 sind nochmals die einzelnen Kostenbestandteile der Varianten über 20 Jahre aufgeführt. Zusätzlich in dunkelblau dargestellt die Gesamtkosten über 20 Jahre.

Variante 1 mit den Pelletkesseln ist mit ca. 3,25 Mio. € mit Abstand die wirtschaftlichste Variante. Allerdings gilt diese nur als Referenzvariante, da diese als verbrennungsbasierte Variante von Seiten der Stadt Dortmund nicht gewünscht ist und zudem eine geteilte öffentliche Meinung zu Nachhaltigkeit und Akzeptanz vertritt.

Die teuerste Variante mit Gesamtkosten von ca. 5,25 Mio. € ist Variante 2 mit der zentralen Heizzentrale und den Erdsonden.

Varianten 3-5 liegen auf einem ähnlichen Preisniveau zwischen knapp 4,48 Mio. € und 4,71 Mio. €. Hier schneidet die dezentrale Variante mit Luft-Wasser-Wärmepumpen ab Besten ab. Dies lässt sich auf die deutlich niedrigeren Investitionskosten zurückführen.

### 3. Fazit und Empfehlung

Die nachfolgende Tabelle fasst die einzelnen Varianten nochmals kurz zusammen.

**Tabelle 4: Zusammenfassung Varianten**

	Variante 1 Pellet	Variante 2 Erdsonden	Variante 3 Eisspeicher	Variante 4 Energiepfähle	Variante 5 Dez. LW-WP
Bedarfsgebundene Kosten	1,91 Mio. €	1,83 Mio. €	2,05 Mio. €	1,83 Mio. €	2,99 Mio. €
Betriebsbedingte Kosten	0,49 Mio. €	0,36 Mio. €	0,36 Mio. €	0,36 Mio. €	0,42 Mio. €
Investkosten	1,31 Mio. €	3,41 Mio. €	2,58 Mio. €	2,87 Mio. €	1,47 Mio. €
<b>Gesamtkosten</b>	<b>3,25 Mio. €</b>	<b>5,25 Mio. €</b>	<b>4,65 Mio. €</b>	<b>4,71 Mio. €</b>	<b>4,48 Mio. €</b>
CO <sub>2</sub> -Ausstoß Wärmeerzeugung	39,82 t/a	21,38 t/a	24,49 t/a	21,38 t/a	37,08 t/a

Bei den nichtverbrennungsbasierten Varianten 2-5 scheint die dezentrale Variante 5 mit Luft-Wasser-WP am wirtschaftlichsten, wenn auch nur leicht. Bei dieser Variante liegt auch die Empfehlung von Dess+Falk. Zwar sind hier die bedarfsgebundenen Kosten deutlich höher als bei den übrigen Varianten und auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß ist höher, aber die Investkosten sind geringer. Entscheidend für eine Empfehlung für diese Variante sind aber folgende Punkte:

- Bei der Umsetzung einer Wärmeversorgung sollte auch der zeitliche Aspekt berücksichtigt werden. Die Planung der energetischen Versorgung mit Luft-Wasser-Wärmepumpe in Kombination mit Photovoltaik-Modulen wurde frühzeitig im Projekt erstellt und dementsprechend dem in 02/2023 eingereichten Förderantrag zu Grunde gelegt. Eine Umplanung der energetischen Versorgung gemäß Ratsbeschluss (23.03.2023) würde mit einer Verzögerung im Projekt verbunden sein und einen deutlichen wirtschaftlichen Mehraufwand bedeuten. Dies insbesondere bei den Varianten 2-4, die eine Genehmigung sowie Probebohrung und Simulation benötigen.

Diese Simulationen sind notwendig, da nur so realistische Aussagen über die tatsächlich zur Verfügung gestellte Energiemenge gemacht werden können. Aus Erfahrungen aus anderen Projekten sind hier hohe Vorlaufzeiten notwendig, da Genehmigungsverfahren langwierig sein können und auszuführende Firmen für die Probebohrung/ Simulation rar gesät sind und volle Auftragsbücher haben. Die Umsetzung des Bauvorhabens kann sich damit erheblich verzögern.

- Durch die dichte Bebauung des Quartiers und die damit verbundenen geringen Abstandsflächen sind die Straßenbereiche zwischen den Gebäuden bereits stark mit Versorgungsleitungen belegt. Eine zentrale Wärmeversorgung führt zu einem zusätzlichen Leitungsnetz durch das Anschließen der einzelnen Gebäude an das entstehende Nahwärmenetz, sowie durch die Verbindung der einzelnen Bestandteile der Wärmeerzeugung. Variante 5 kommt hier mit deutlich geringerem Leitungsverlauf aus. Dadurch ist eine Umsetzung im Straßenbereich bei der erstmaligen Verlegung aber auch bei späteren notwendigen Änderungen einfacher und wirtschaftlicher umzusetzen.

- Die elf Wohngebäude werden nicht alle gleichzeitig gebaut und in Betrieb genommen. Variante 5 ermöglicht es aufgrund der dezentralen Wärmeversorgung ein jederzeit und für jedes Gebäude angepassten Wärmebedarf zu liefern. Bei einer zentralen Variante müsste die Wärmeerzeugung zu Beginn entweder nur teilweise in Betrieb gehen oder ineffizient in Teillast fahren. Da Teilbereiche der Wärmeerzeugung (z.B. Erdsonden) aber aufgrund der räumlichen Lage erst nach dem Bau des jeweiligen Gebäuderohbaus erstellt werden können, ist eine stetige Vergrößerung des Wärmenetzes notwendig und Provisorien und Zwischenlösungen müssen umgesetzt werden. Dies führt zu hohen Kosten, die in der bisherigen Studie nicht berücksichtigt sind. Auch nach Fertigstellung der Neubauten gewährleistet die dezentrale Wärmeversorgung eine höhere Versorgungssicherheit: bei einem Defekt oder einem Ausfall ist nicht das komplette Quartier betroffen, wie dies bei einer zentralen Wärmeversorgung der Fall wäre.
- Bezogen auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Wärmeversorgung schneidet Variante 1 auf Basis von Pellets am schlechtesten ab. Der höhere CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Variante 5 bezogen auf die Wärmeversorgung gegenüber den übrigen wärmepumpenbasierten Varianten lässt sich eventuell im Rahmen der weiteren Planung noch „ausgleichen“. Mit der zu erfolgenden Gesamt-Öko-Bilanzierung der Gebäude wird erst erkennbar, wo das Quartier im Vergleich zu anderen Bauvorhaben steht und mit welcher Ökobilanz tatsächlich gerechnet werden muss. Planer und Bauherr können hier entsprechend einsteuern.