



## Erneuerbare Wärme im Quartier – Erfüllungsoptionen nach GEG 2024

# Reihenhaussiedlung

## Sanierungszustand teilsaniert

Das Musterquartier besteht aus ein- bis dreigeschossigen Einfamilienhäusern in Form von Reihenhäusern. Das Quartier hat eine geringe Bebauungsdichte, die jedoch höher ist als in der Ein- und Zweifamilienhaussiedlung. Die Reihenhaussiedlung ist meist am Stadtrand oder im Vorort gelegen und wurde vor allem in den 1950er, 1960er und 1980er Jahren gebaut.

### Ausgangslage und Annahmen

Die Gebäude sind energetisch nicht wesentlich saniert. Dadurch haben sie einen mittleren spezifischen Wärmebedarf von 200 kWh je m<sup>2</sup> und Jahr, was der Energieeffizienzklasse F bis G entspricht. Die Fläche je Wohneinheit beträgt 120 m<sup>2</sup>. Insgesamt besteht das Musterquartier aus 20 Gebäuden mit jeweils 5 Wohneinheiten.

Die energetisch nutzbare Freifläche des Quartiers beträgt etwa 30 Prozent der gesamten Quartiersfläche. Diese Freifläche liegt überwiegend auf individuellen, privaten Grundstücken.

Folgende fünf Versorgungsvarianten zur Erfüllung der GEG-Anforderungen nach § 71 ff. werden für ein Quartier dieses Siedlungstyps betrachtet. Alle Varianten werden durch einen Gaskessel für die Spitzenlast ergänzt.

- Dezentrale Luftwärmepumpen mit Photovoltaik
- Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe (Luft)
- Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe (Luft und Geothermie)
- Wärmenetz mit Blockheizkraftwerk und zentraler Wärmepumpe (Luft)
- Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe (Abwärme)

Diese Varianten werden auf den folgenden Seiten näher beschrieben. Im Anschluss werden die Ergebnisse einer Wirtschaftlichkeitsberechnung sowie ökologische Faktoren vergleichend gegenübergestellt.

Die dargestellten Versorgungsvarianten sind gängige Lösungen, die jeweils ihre Vor- und Nachteile haben. Sie sollen Anregung geben und aufzeigen, welche Technologien zur Versorgung mit erneuerbaren Energien möglich sind. In realen Quartieren müssen die Gegebenheiten vor Ort in die Auswahl eines geeigneten Konzepts einbezogen werden.

Vor der Detailplanung der Wärmeversorgung sollte der konkrete Standort deshalb auf Hemmnisse untersucht werden. Zu wenig verfügbare Flächen oder vorhandene Trinkwasserschutz-zonen können die Machbarkeit der Versorgungslösung maßgeblich beeinflussen und sollten daher frühzeitig berücksichtigt werden.

In allen Varianten, sowohl bei den zentralen als auch bei der dezentralen, wird das gesamte Musterquartier mit einem Wärmebedarf von 2.400 MWh pro Jahr betrachtet. Die Vorlauf-temperatur der Heizungen beträgt 75 °C.

Bisher wurde der Wärmebedarf des Musterquartiers überwiegend dezentral über Gaskessel gedeckt. Für das Quartier wird angenommen, dass die technische Lebensdauer noch nicht erreicht ist, sodass die Gaskessel bei der dezentralen Variante als Spitzenlastkessel weiter in Betrieb bleiben können.

Bei einer dezentralen Versorgung über Wärmepumpen können die einzelnen Gebäude höhere Anschlussleistungen bei ihrem Stromanschluss benötigen. Hierbei sind die Anmeldefristen beim zuständigen Netzbetreiber einzuhalten.

Für die dezentrale Versorgung wird Photovoltaik-Strom von einer Aufdachanlage des jeweiligen Gebäudes berücksichtigt. Hierfür wird eine Dachfläche von jeweils 40 m<sup>2</sup> in Südausrichtung angenommen. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass 50 Prozent dieser Dachfläche mit Photovoltaik belegt werden. Batteriespeicher werden nicht berücksichtigt, können sich aber positiv auf den Eigenstromverbrauch auswirken und ihr Einsatz ist im Einzelfall zu prüfen.

Neben der dezentralen Erzeugung im jeweiligen Gebäude kann der Wärmebedarf auch aus zentraler Erzeugung über ein Wärmenetz gedeckt werden. Die Errichtung eines Wärmenetzes geht mit entsprechenden Kosten und Zeiträumen für die Verlegung einher.

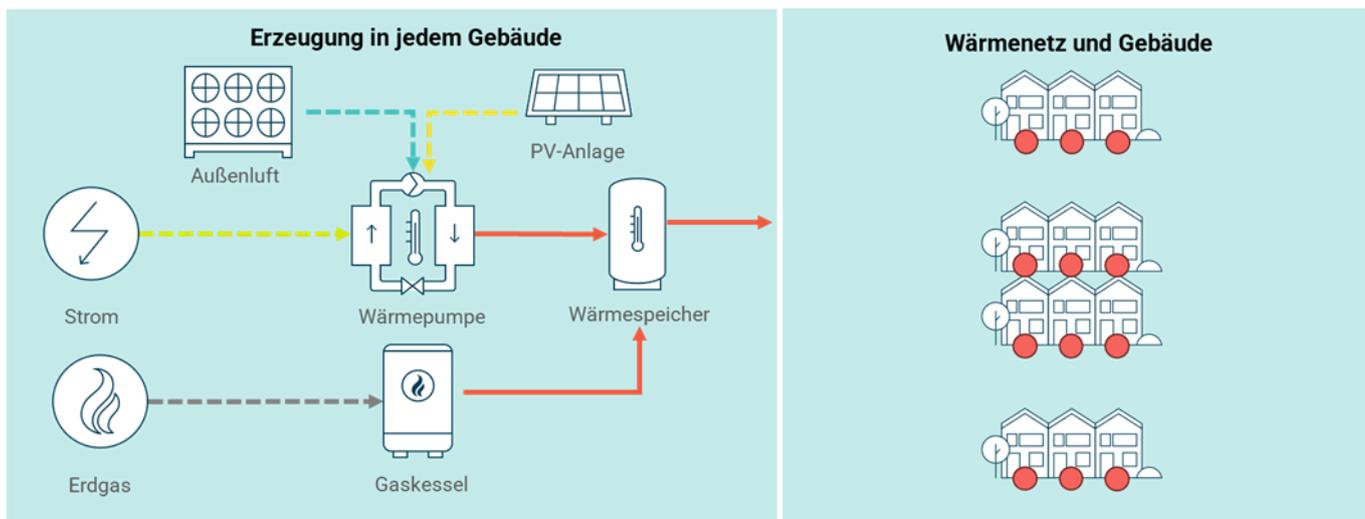
Das Musterquartier wird bei den zentralen Versorgungsvarianten über ein Wärmenetz mit einer Länge von 600 m bei einer mittleren Netztemperatur von 80 °C angeschlossen. Die mittlere Baudichte und der hohe Wärmebedarf führen zu einer Wärmelinien-dichte des Nahwärmenetzes von 4,20 MWh/m\*a.

In allen Varianten werden Pufferspeicher zur Betriebsoptimierung angenommen. Sie sind auf eine Versorgung für etwa 1,5 Stunden ausgelegt. So kann der Betrieb der Wärmeerzeuger flexibilisiert werden, sodass Taktungen, also das wiederholte An- und Ausschalten der Anlage, reduziert werden können. Dies erhöht die Lebensdauer der Anlage.

In der folgenden Tabelle werden die variantenübergreifenden Annahmen für das Quartier zusammengefasst.

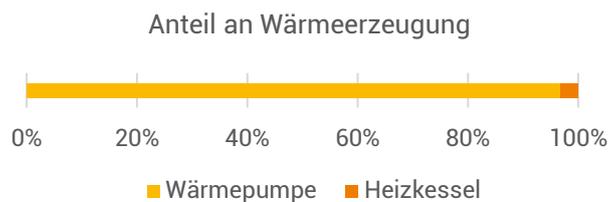
<b>Reihenhaussiedlung</b>	
Sanierungszustand	teilsaniert
Wohneinheiten	100
Fläche je Wohneinheit	120 m <sup>2</sup>
Spezifischer Wärmebedarf	200 kWh/m <sup>2</sup> a
davon Trinkwarmwasserbedarf	12,5 kWh/m <sup>2</sup> a
Länge des Wärmenetzes	600 m
Wärmelinien-dichte	4,20 MWh/m
Vor-/Rücklauf-temperaturen	75/55 °C

## 1 Dezentrale Luftwärmepumpen mit Photovoltaik

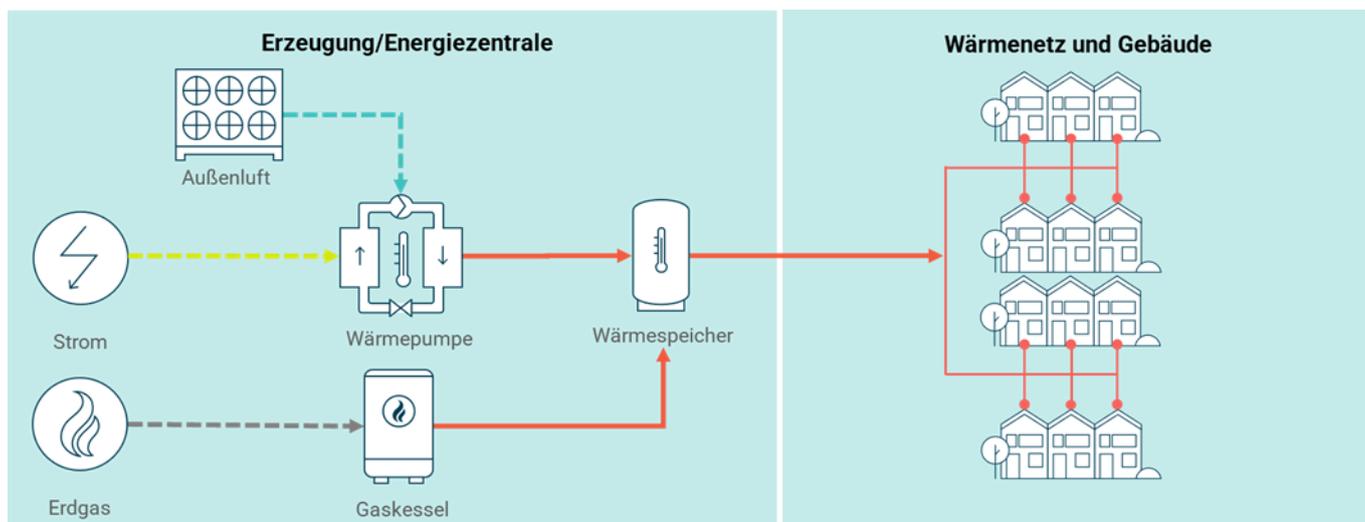


Bei der dezentralen Versorgungsvariante wird in jedem Gebäude eine auf den individuellen Raumwärme- und Trinkwasserbedarf ausgelegte Luftwärmepumpe installiert. Darüber hinaus wird der Strom einer Photovoltaik-Anlage auf dem Dach des Gebäudes zum Betrieb der Wärmepumpe genutzt.

Anlagenkonfiguration	
Thermische Leistung Wärmepumpe	11 kW
Thermische Leistung Gaskessel	13 kW
Volumen Wärmespeicher	1 m <sup>3</sup>

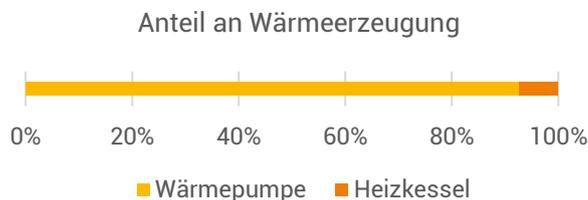


## 2 Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe (Luft)

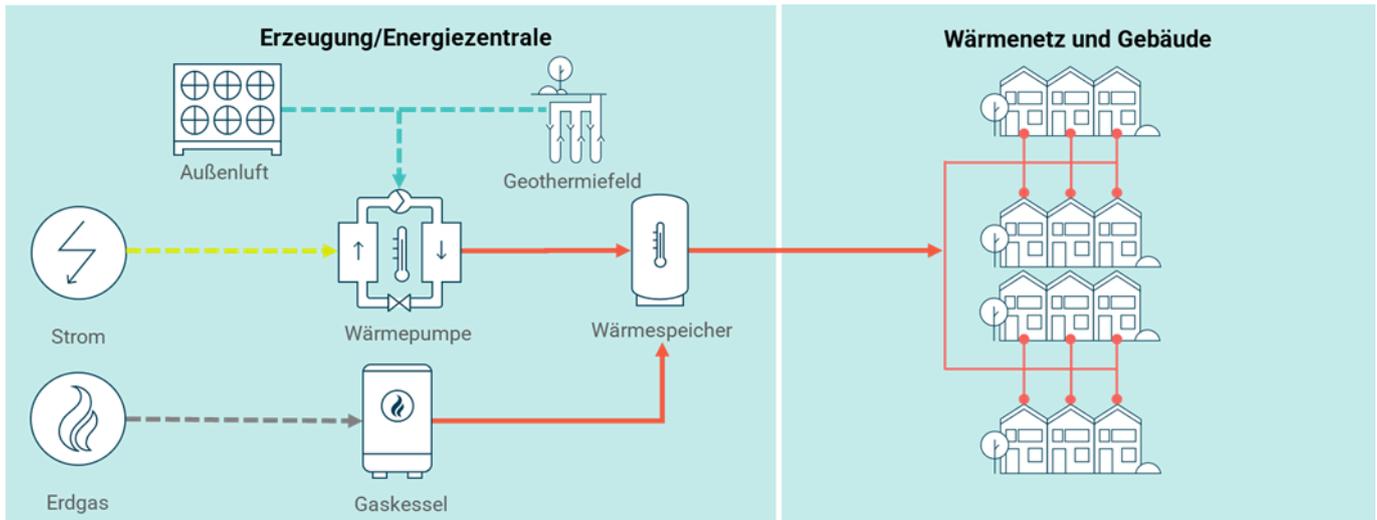


Bei dieser Variante erfolgt die Wärmeversorgung des Quartiers über eine zentrale Luftwärmepumpe und einen Gaskessel. Die Wärmeerzeuger speisen in ein Nahwärmenetz ein, über das die einzelnen Gebäude mit Wärme versorgt werden.

Anlagenkonfiguration	
Thermische Leistung Wärmepumpe	900 kW
Thermische Leistung Gaskessel	1.400 kW
Volumen Wärmespeicher	30 m <sup>3</sup>

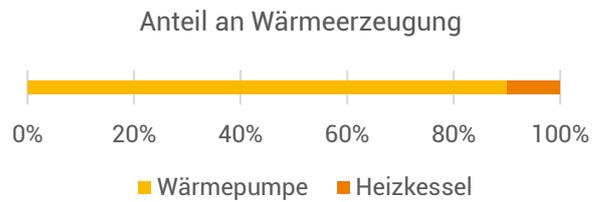


### 3 Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe (Luft und Geothermie)

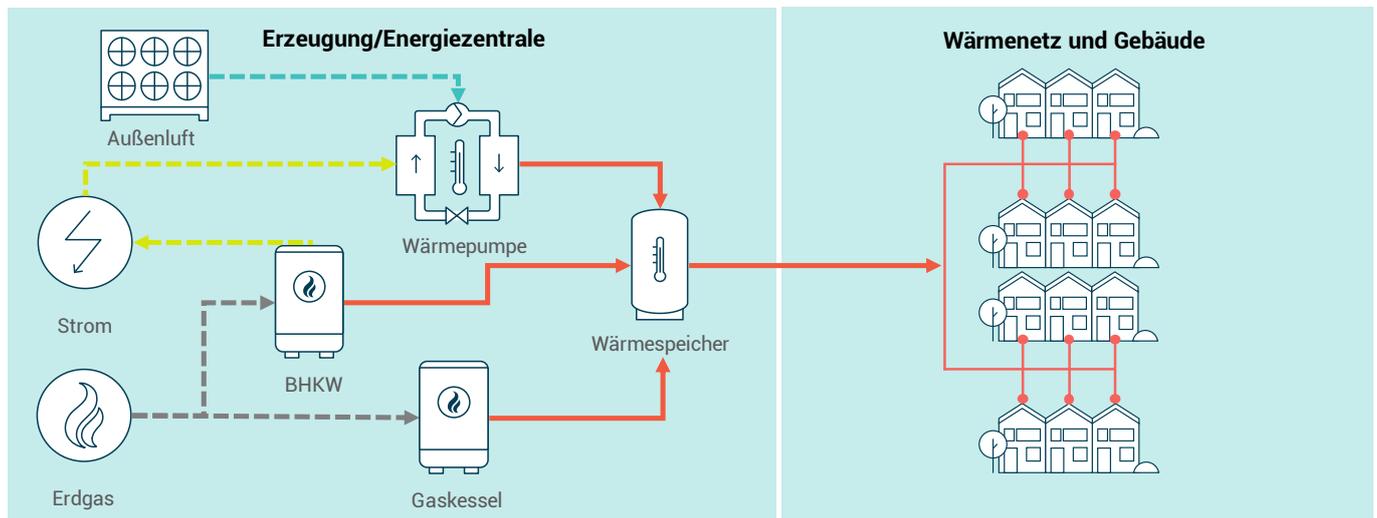


Bei dieser Variante erfolgt die Wärmeversorgung des Quartiers wie bei Variante 2 über eine zentrale Wärmepumpe und einen Gaskessel. Als Wärmequelle wird neben der Außenluft ein Erdsondenfeld genutzt.

Anlagenkonfiguration	
Thermische Leistung Wärmepumpe	560 kW
Anzahl Erdsonden	85
Thermische Leistung Gaskessel	1.400 kW
Volumen Wärmespeicher	10 m³

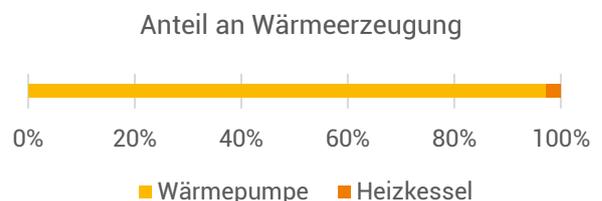


### 4 Wärmenetz mit Blockheizkraftwerk und zentraler Wärmepumpe (Luft)

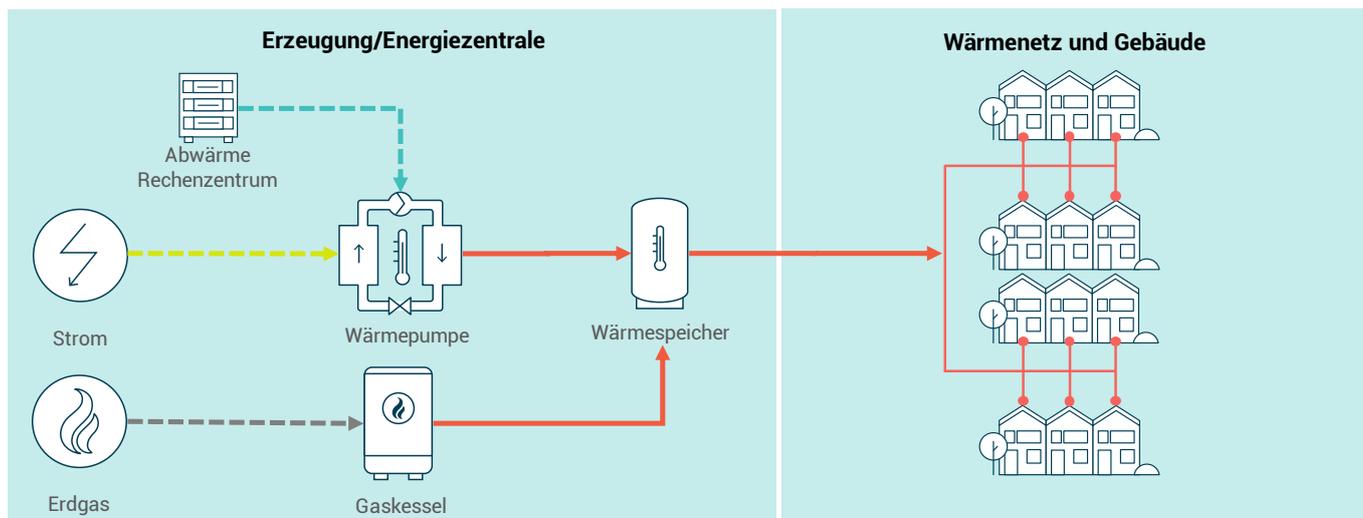


Bei dieser Variante erfolgt die Wärmeversorgung des Quartiers über eine zentrale Luftwärmepumpe, ein Blockheizkraftwerk (BHKW) und einen Gaskessel.

Anlagenkonfiguration	
Thermische Leistung Wärmepumpe	420 kW
Elektrische Leistung BHKW	140 kW
Thermische Leistung BHKW	224 kW
Thermische Leistung Gaskessel	1.400 kW
Volumen Wärmespeicher	10 m³

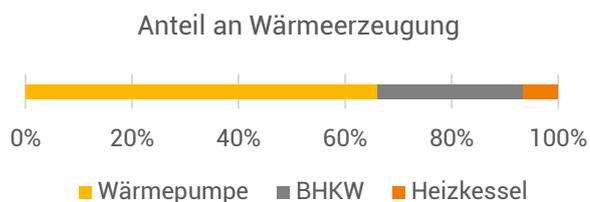


## 5 Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe (Abwärme)



Bei dieser zentralen Versorgungsvariante wird eine zentrale Wärmepumpe mit der Abwärme von einem standortspezifischen und hier exemplarisch gewählten Rechenzentrum versorgt. Zusätzlich wird ein Gaskessel für Spitzenlast eingesetzt.

Anlagenkonfiguration	
Thermische Leistung Wärmepumpe	825 kW
Thermische Leistung Gaskessel	515 kW
Volumen Wärmespeicher	10 m <sup>3</sup>

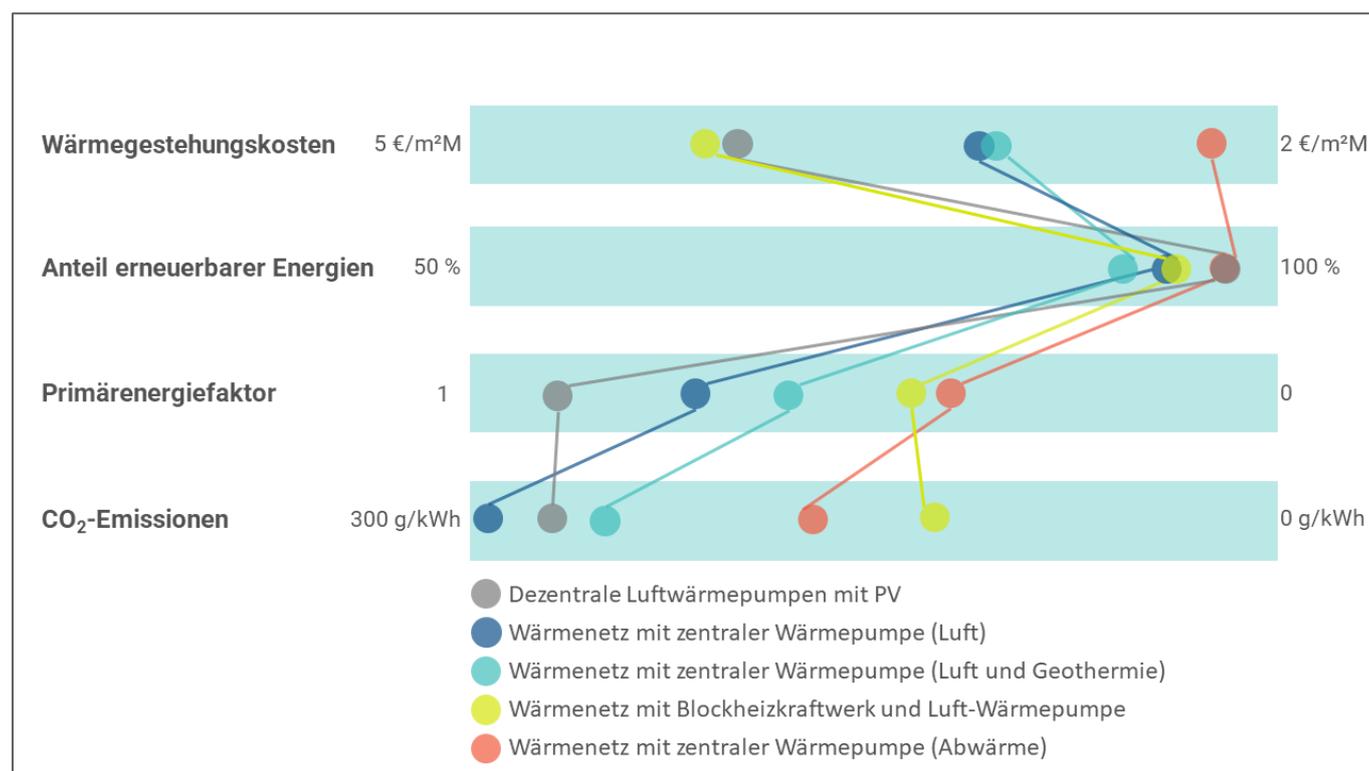
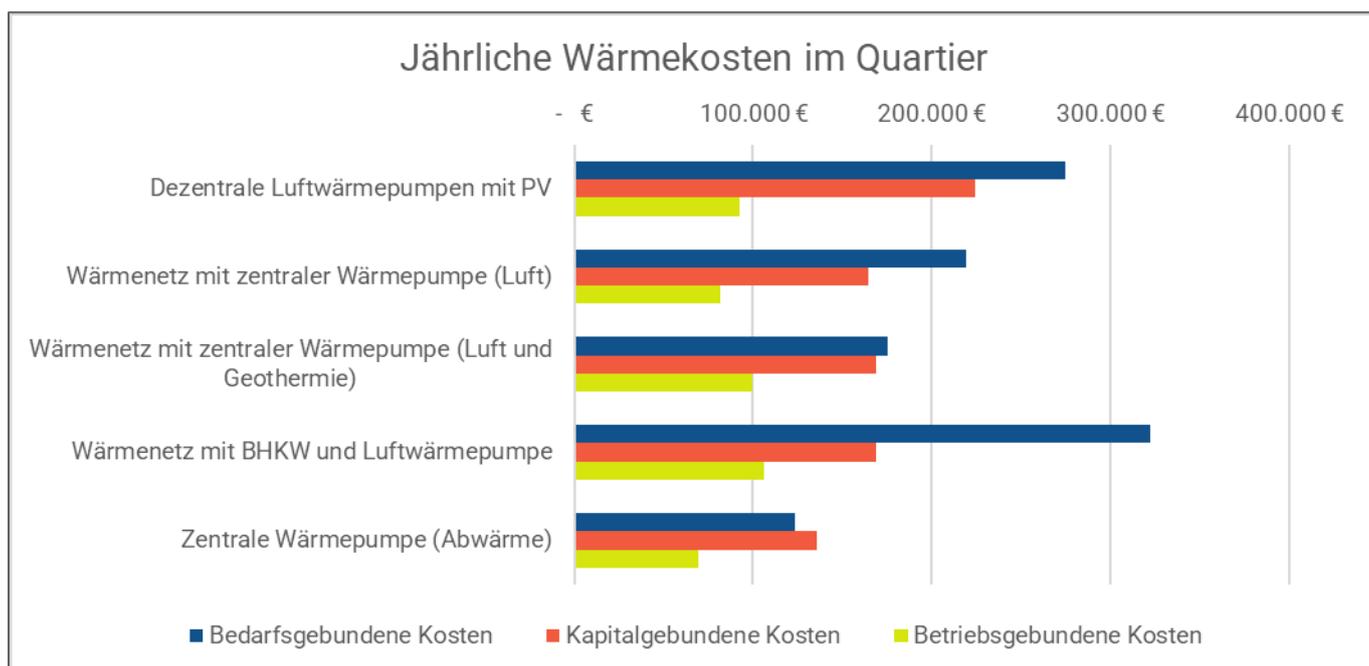


## Ergebnisse des Variantenvergleichs

Die vorgestellten Versorgungsvarianten werden im Hinblick auf ökonomische und ökologische Kriterien verglichen. Für die Ermittlung ökonomischer Kennzahlen wird die VDI 2067 herangezogen. So werden durchschnittliche jährliche Kosten über 20 Jahre ermittelt. Dabei werden die Kosten in kapitalgebundene Kosten (Investitionen), betriebsgebundene Kosten (Wartung und Instandhaltung) sowie bedarfsgebundene Kosten (Brennstoffkosten) unterteilt. Aus den jährlichen Kosten und dem Wärmebedarf ergeben sich die Wärmegestehungskosten.

Für die zentralen Varianten wird die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) berücksichtigt, für die dezentrale Variante die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG).

Als ökologische Kennzahlen werden neben dem Anteil an erneuerbaren Energien der Primärenergiefaktor und die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen ermittelt. Als Berechnungsgrundlage wird hierbei die Methodik des GEG angewendet, sodass für das Blockheizkraftwerk die Stromgutschriftmethode genutzt wird.



## Wärmekosten

Die geringsten Wärmegestehungskosten weist die zentrale Variante mit Wärmepumpe und Abwärmenutzung auf.

Die Luftwärmepumpe weist in der zentralen Variante mit Wärmenetz geringere Kosten auf als in der dezentralen Variante und zeigt so den Mehrwert einer Quartierslösung.

Der blaue Balken der bedarfsgebundenen Kosten ist bei allen Varianten dominierend und damit ausschlaggebend für die Gesamtkosten der Wärmeerzeugung. Nur die Versorgungsvariante der Abwärmenutzung weist höhere kapitalgebundene als bedarfsgebundene Kosten auf. Im Vergleich zum roten Balken der kapitalgebundenen Kosten, der ebenfalls einen großen Anteil der jährlichen Wärmekosten ausmacht, ist anzumerken, dass die bedarfsgebundenen Kosten volatiler sind. Während die Investitionen zu Beginn getätigt werden, muss der Brennstoff in jedem Jahr zu den dann geltenden Preisen eingekauft werden. Dieses Risiko der Brennstoffpreise sollte bei der Entscheidung für eine solche Variante bedacht werden. Auch die Bezugspreise des Stroms für die Wärmepumpen können schwanken. Allerdings bringt der hohe Anteil an Umweltwärme eine größere Stabilität in die Wärmegestehungskosten dieser Varianten.

## Anteil erneuerbarer Energien

Alle Varianten liegen deutlich über den erforderlichen 65 Prozent erneuerbare Energien und erfüllen mit weniger als 10 Prozent fossiler Wärme ohne Kraft-Wärme-Kopplung auch die BEW-Anforderungen.

## Primärenergiefaktor

Den besten Primärenergiefaktor weist die Variante der Abwärmenutzung auf. Dies verdeutlicht, dass es sinnvoll ist, die lokalen Potenziale zu untersuchen und in die Variantenentwicklung einzubeziehen. So können Wärmequellen genutzt werden, die einen möglichst effizienten Betrieb der Wärmepumpen ermöglichen.

Aufgrund der gesetzlich vorgeschriebenen Allokationsmethode weist die Variante mit BHKW durch die Stromgutschrift den zweitniedrigsten Primärenergiefaktor auf. Der Primärenergiefaktor der Wärmepumpen wird vorrangig durch den Strombezug aus dem Netz bestimmt. Es ist zu erwarten, dass er bei gleichem Erzeugungsprofil durch einen höheren Anteil an Strom aus erneuerbaren Energien bis 2045 weiter sinken wird.

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

Die Variante mit BHKW weist aufgrund der Stromgutschrift die geringsten spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf. Ähnlich wie beim Primärenergiefaktor ist dies auf die Stromgutschrift zurückzuführen. Es ist zu erwarten, dass die mit dem Strombezug verbundenen Emissionen zukünftig geringer ausfallen werden.

Zwischen den wärmepumpenbasierten Versorgungsvarianten bestehen teils erhebliche Unterschiede, wobei die Nutzung von Abwärme mit den geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen einhergeht.

## Vor- und Nachteile

Abschließend sind einige Vor- und Nachteile der verschiedenen Varianten zusammengefasst.

	⊕	⊖	○
<b>1 Dez. Luft-WP + PV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Synergieeffekte zwischen Wärmepumpe und PV-Anlage</li> <li>■ Geringe Komplexität und wenig Koordinierungsbedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Höchste Investitionskosten</li> <li>■ Hohe Wärmegestehungskosten</li> <li>■ Höchster Primärenergiefaktor und hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>■ Geringste Förderquote</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Unter Umständen Stromnetzausbau erforderlich</li> <li>■ Zulässige Schallemissionen der Wärmepumpen beachten</li> </ul>
<b>2 Netz Luft-WP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Förderquote am höchsten (BEW-förderfähig)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hohe Investitionskosten (Wärmenetz)</li> <li>■ CO<sub>2</sub>-Emissionen am höchsten</li> <li>■ Bau Nahwärmenetz erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Flächenverfügbarkeit für Energiezentrale erforderlich</li> <li>■ Ein Betreiber muss gesucht werden</li> <li>■ Zulässige Schallemissionen der Wärmepumpe beachten</li> </ul>
<b>3 Netz Geo/Luft-WP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Flexible Betriebsweise hinsichtlich der Wahl der Wärmequelle</li> <li>■ Förderquote am höchsten (BEW-förderfähig)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hohe Investitionskosten (Wärmenetz, Erdwärmesonden)</li> <li>■ Bau Nahwärmenetz erforderlich</li> <li>■ Hoher Flächenbedarf</li> <li>■ Geringster Anteil an erneuerbarer Wärme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Flächenverfügbarkeit für Energiezentrale und Erdsondenfeld erforderlich</li> <li>■ Genehmigung Erdsonden erforderlich</li> <li>■ Ein Betreiber muss gesucht werden</li> <li>■ Zulässige Schallemissionen der Wärmepumpe beachten</li> </ul>
<b>4 Netz BHKW + Luft-WP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Geringste CO<sub>2</sub>-Emissionen und niedriger Primärenergiefaktor durch gesetzlich vorgeschriebene Allokationsmethode (Stromgutschrift)</li> <li>■ Synergieeffekte durch BHKW-Eigenstromnutzung für die Wärmepumpe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hohe Investitionskosten (Wärmenetz)</li> <li>■ Bau Nahwärmenetz erforderlich</li> <li>■ Platzbedarf in der Energiezentrale</li> <li>■ Höchste Wärmegestehungskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Flächenverfügbarkeit für Energiezentrale erforderlich</li> <li>■ Betreiber muss gesucht werden</li> <li>■ Zulässige Schallemissionen der Wärmepumpe beachten</li> </ul>
<b>5 Netz Abwärme-WP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Geringste Investitionskosten</li> <li>■ Niedrigste Wärmegestehungskosten</li> <li>■ Niedrigster Primärenergiefaktor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Abhängigkeit von Abwärmeproduzent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Preisverhandlung für Abwärme erforderlich</li> </ul>



**Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz**

Die Veröffentlichung dieser Publikation erfolgt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) unterstützt die Bundesregierung in verschiedenen Projekten zur Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele im Rahmen der Energiewende.

**Herausgeber:**  
Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Chausseestraße 128 a  
10115 Berlin  
E-Mail: [info@dena.de](mailto:info@dena.de) / [info@gebaeudeforum.de](mailto:info@gebaeudeforum.de)  
Internet: [www.dena.de](http://www.dena.de) / [www.gebaeudeforum.de](http://www.gebaeudeforum.de)

Alle Rechte sind vorbehalten.  
Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

Stand: 03/2024