



Erneuerbare Wärme im Quartier – Erfüllungsoptionen nach GEG 2024

Ein- und Zweifamilienhaussiedlung

Sanierungszustand ambitioniert

Das Musterquartier besteht aus Einfamilien- und Doppelhäusern mit geringer Baudichte und offener Bebauungsstruktur. Dieser Siedlungstyp ist meist am Stadtrand, in Vororten oder im ländlichen Raum gelegen und weist eine gemischte Baualtersklasse auf. Ein- und Zweifamilienhäuser stellen fast 58 Prozent der Wohnfläche in Deutschland dar.

Ausgangslage und Annahmen

Die Gebäude sind gut bis sehr gut saniert. Dadurch haben sie einen mittleren spezifischen Wärmebedarf von 90 kWh je m² und Jahr, was der Energieeffizienzklasse C entspricht. Die Fläche je Wohneinheit beträgt 150 m². Insgesamt besteht das Musterquartier aus 15 Einfamilienhäusern und 15 Doppelhäusern und umfasst damit 45 Wohneinheiten.

Durch die geringe Baudichte ist die energetisch nutzbare Freifläche des Quartiers groß und beträgt etwa 50 Prozent der gesamten Quartiersfläche. Diese Freifläche liegt überwiegend auf privaten Grundstücken und gehört den Einzel-eigentümerinnen und -eigentümern. Es handelt sich überwiegend um Eigentum. Dadurch ist die Eigentümerstruktur sehr heterogen.

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)
- Dezentrale Luftwärmepumpen mit Solarthermie

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 den dezentralen, wird das gesamte Musterquartier mit einem Wärmebedarf von 608 MWh pro Jahr betrachtet. Die Vorlauf-temperatur der Heizungen beträgt 55 °C. Damit können im sanierten Gebäudebestand sowohl Fußbodenheizungen als auch Heizkörper betrieben werden.

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 den beiden dezentralen Varianten 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 49 m² 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.

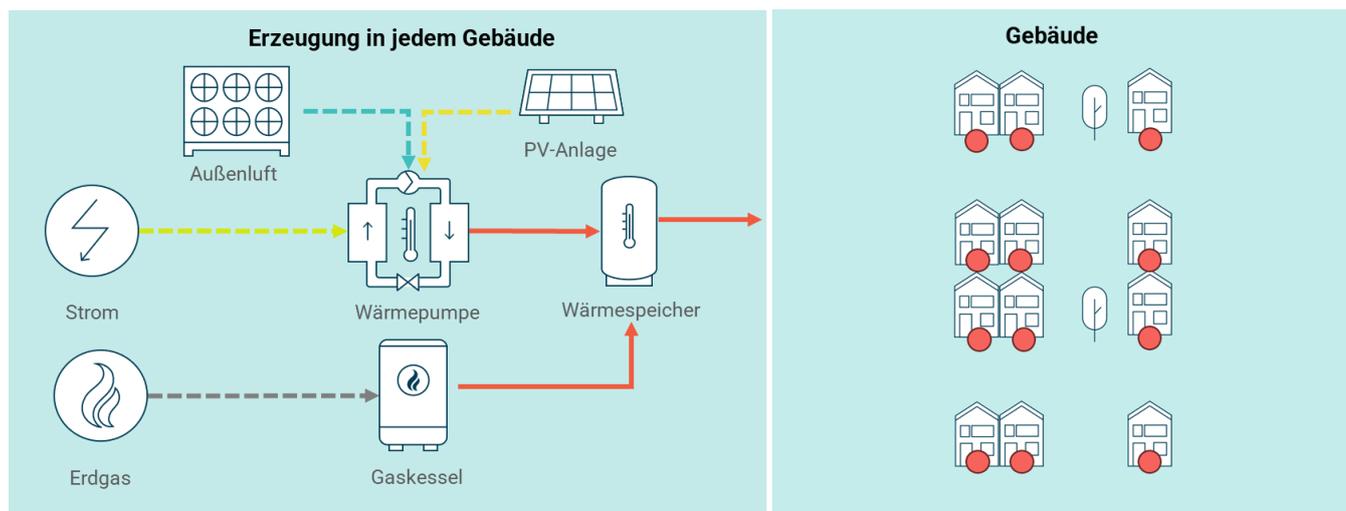
Das Musterquartier wird bei den zentralen Versorgungsvarianten über ein Wärmenetz mit einer Länge von 900 m bei einer mittleren Netztemperatur von 60 °C angeschlossen. Durch den großen Abstand der Gebäude zueinander und den daraus resultierenden geringen Wärmebedarf je Trassenmeter ergibt sich eine Wärmeliniendichte von 0,78 MWh/m*a. Dies ist die geringste Wärmeliniendichte aller untersuchten Siedlungstypen.

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.

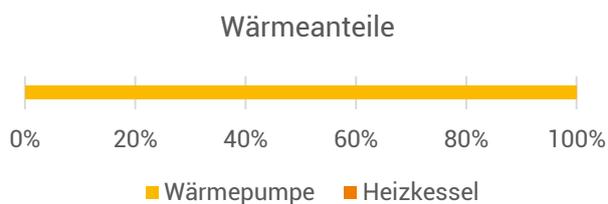
| Ein- und Zweifamilienhaussiedlung | |
|--|---------------------------|
| Sanierungszustand | ambitioniert |
| Wohneinheiten | 45 |
| Fläche je Wohneinheit | 150 m ² |
| Spezifischer Wärmebedarf | 90 kWh/m ² a |
| davon Trinkwarmwasserbedarf | 12,5 kWh/m ² a |
| Länge des Wärmenetzes | 900 m |
| Wärmeliniendichte | 0,78 MWh/m |
| Vor-/Rücklauftemperaturen | 55/40 °C |

1 Dezentrale Luftwärmepumpen mit Photovoltaik

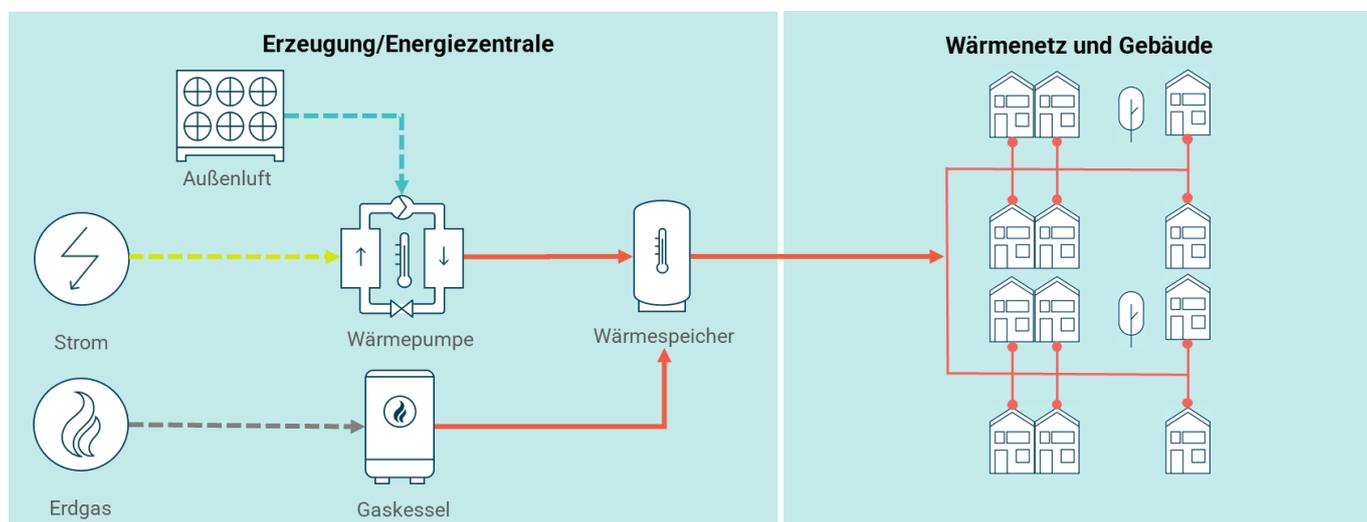


Bei der dezentralen Versorgungsvariante wird in jedem Gebäude eine auf den individuellen Raumwärme- und Trinkwasserbedarf ausgelegte Luftwärmepumpe installiert. Darüber hinaus wird der Strom einer Photovoltaik-Anlage auf dem Dach des Gebäudes zum Betrieb der Wärmepumpe genutzt.

| Anlagenkonfiguration | |
|--------------------------------|--------------------|
| Thermische Leistung Wärmepumpe | 9 kW |
| Thermische Leistung Gaskessel | 7 kW |
| Volumen Wärmespeicher | 0,5 m ³ |

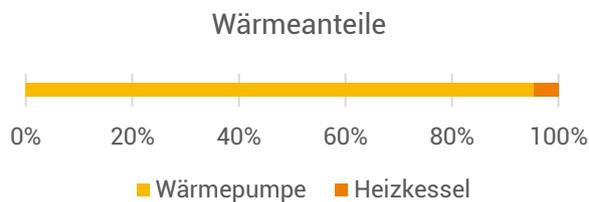


2 Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe (Luft)

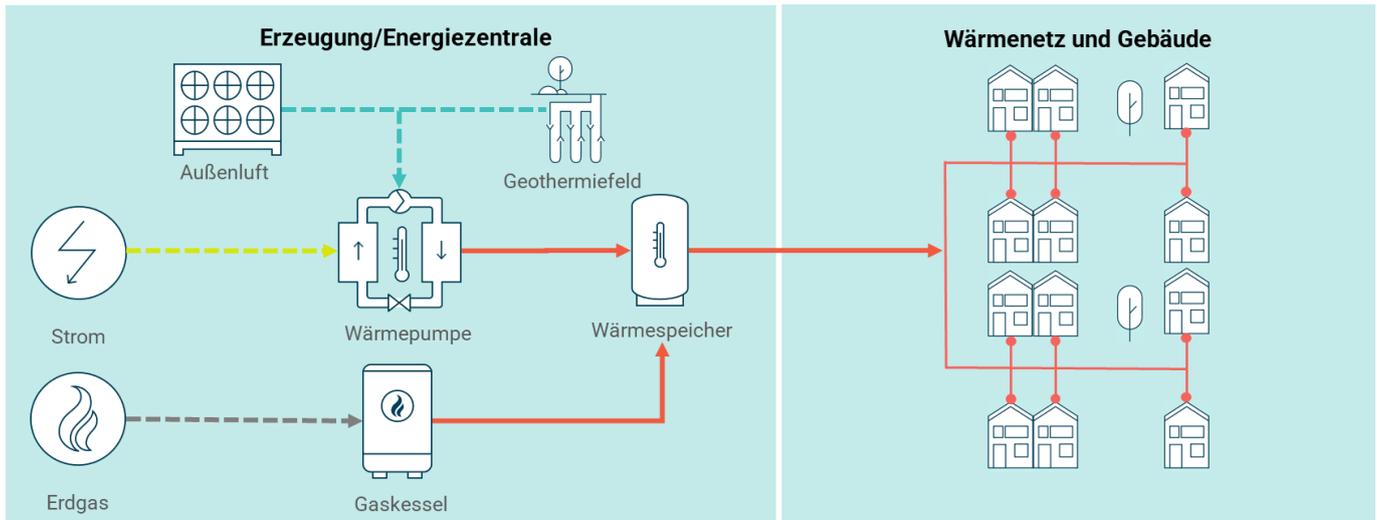


Bei dieser Variante erfolgt die Wärmeversorgung des Quartiers über eine zentrale Luftwärmepumpe und einen Gaskessel. Die Wärmeerzeuger speisen in ein Nahwärmenetz ein, über das die einzelnen Gebäude mit Wärme versorgt werden.

| Anlagenkonfiguration | |
|--------------------------------|-------------------|
| Thermische Leistung Wärmepumpe | 180 kW |
| Thermische Leistung Gaskessel | 374 kW |
| Volumen Wärmespeicher | 10 m ³ |

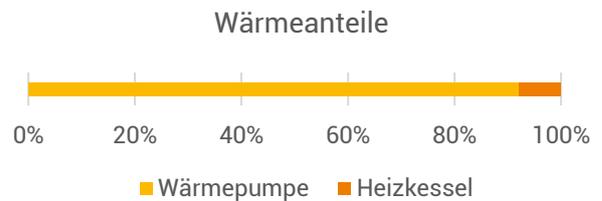


3 Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe (Luft und Geothermie)

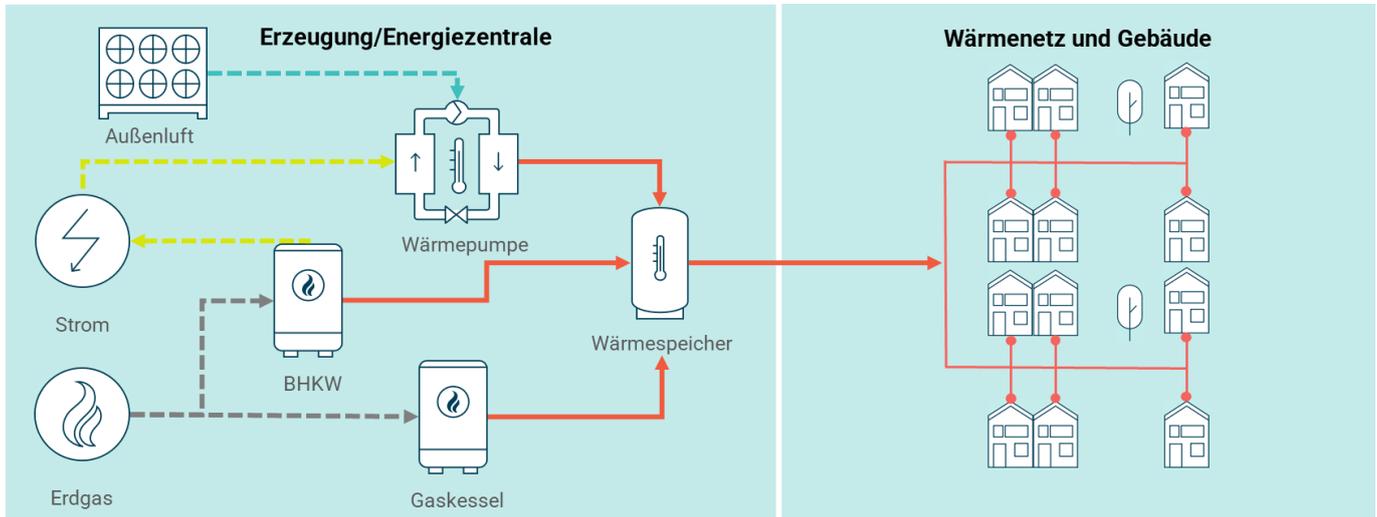


Bei dieser Variante erfolgt die Wärmeversorgung des Quartiers wie bei Variante 2 über eine zentrale Wärmepumpe und einen Gaskessel. Als Wärmequelle wird neben der Außenluft ein Erdsondenfeld genutzt.

| Anlagenkonfiguration | |
|--------------------------------|-------------------|
| Thermische Leistung Wärmepumpe | 150 kW |
| Anzahl Erdsonden | 25 |
| Thermische Leistung Gaskessel | 374 kW |
| Volumen Wärmespeicher | 10 m ³ |

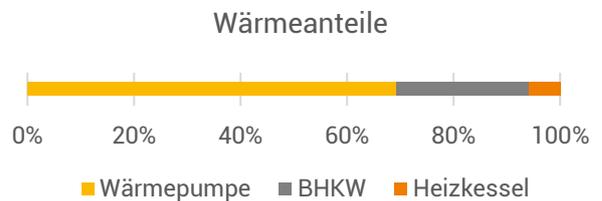


4 Wärmenetz mit Blockheizkraftwerk und zentraler Wärmepumpe (Luft)

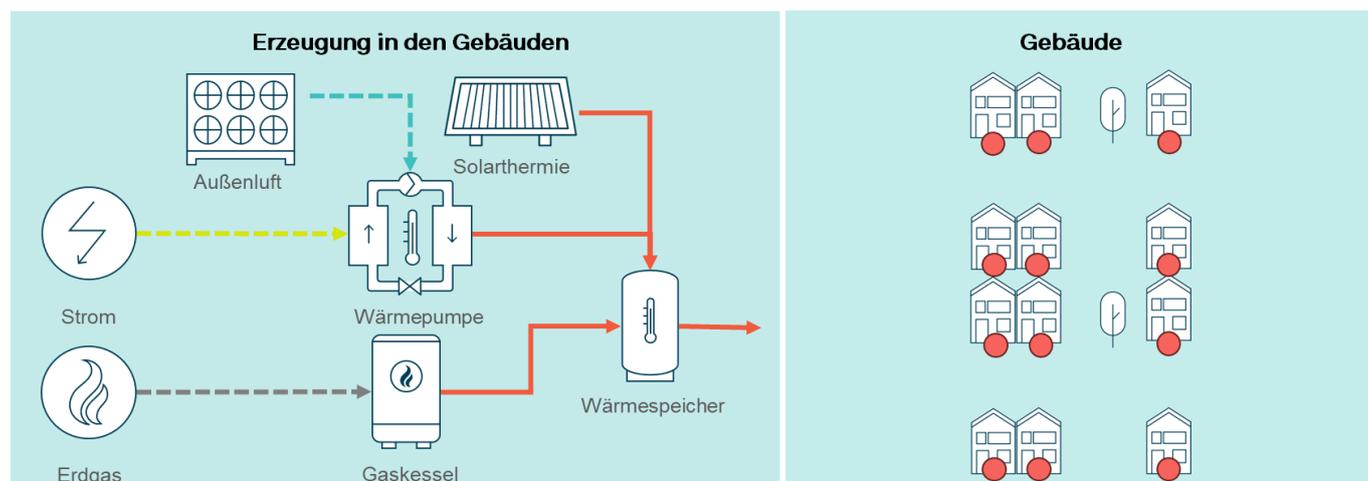


Bei dieser Variante erfolgt die Wärmeversorgung des Quartiers über eine zentrale Luftwärmepumpe, ein Blockheizkraftwerk (BHKW) und einen Gaskessel.

| Anlagenkonfiguration | |
|--------------------------------|-------------------|
| Thermische Leistung Wärmepumpe | 90 kW |
| Elektrische Leistung BHKW | 39 kW |
| Thermische Leistung BHKW | 62 kW |
| Thermische Leistung Gaskessel | 374 kW |
| Volumen Wärmespeicher | 10 m ³ |

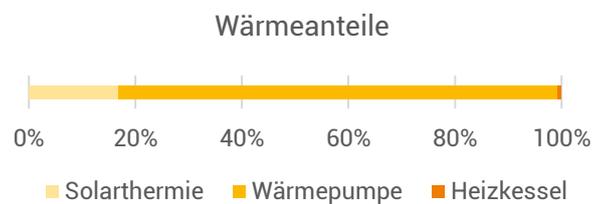


5 Dezentrale Luftwärmepumpen mit Solarthermie



Bei der dezentralen Versorgungsvariante wird, wie in Variante 1, in jedem Gebäude eine auf den individuellen Heizwärme- und Trinkwarmwasserbedarf ausgelegte Luftwärmepumpe installiert. Darüber hinaus werden die Dächer anteilig mit Solarthermie-Anlagen belegt.

| Anlagenkonfiguration | |
|--------------------------------|--------------------|
| Thermische Leistung Wärmepumpe | 9 kW |
| Thermische Leistung Gaskessel | 7 kW |
| Volumen Wärmespeicher | 0,5 m ³ |

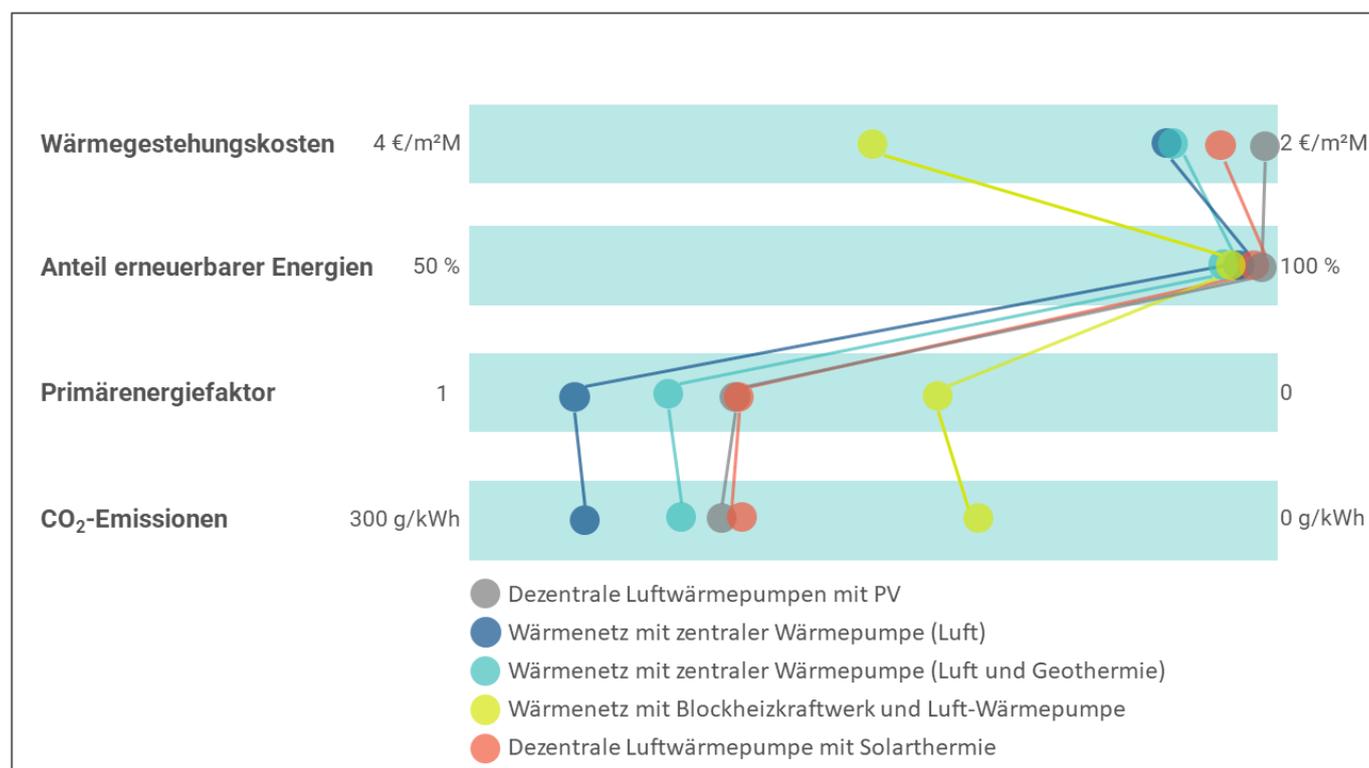
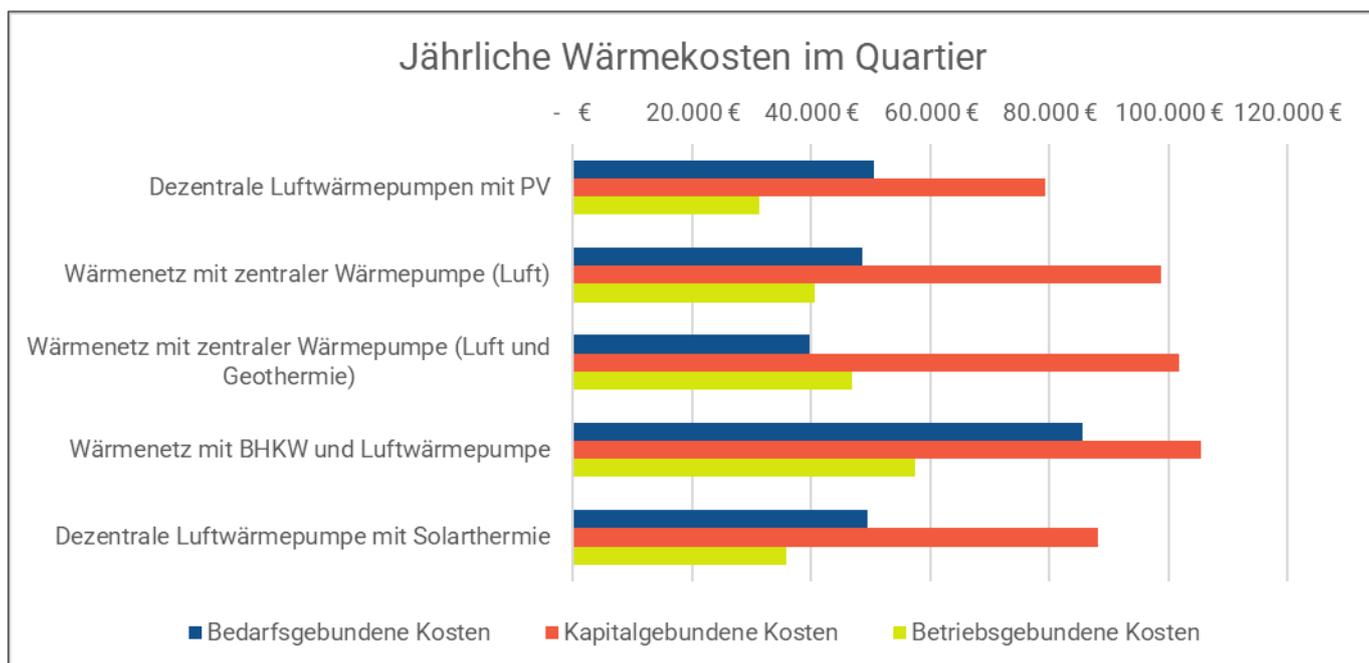


Ergebnisse des Variantenvergleichs

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 dezentralen Varianten die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG).

Als ökologische Kennzahlen werden neben dem Anteil an erneuerbaren Energien der Primärenergiefaktor und die spezifischen CO₂-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 dezentrale Variante mit Luftwärmepumpe und Photovoltaik auf, gefolgt von der dezentralen Variante mit Solarthermie. Eine zentrale Lösung mit Wärmenetz ist aus wirtschaftlicher Perspektive nicht die beste Lösung für dieses Quartier. Dies lässt sich durch die eingangs erwähnte Wärmeliniendichte begründen. Es ist „viel Netz“ mit entsprechenden Investitionskosten für „wenig Wärmebedarf“ notwendig. Das zeigen auch die höheren kapitalgebundenen Kosten der zentralen Varianten.

Der rote Balken der kapitalgebundenen Kosten ist bei allen Varianten mit ausschlaggebend für die Kosten der Wärmeerzeugung. Im Vergleich zum blauen Balken der bedarfsgebundenen 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.

Primärenergiefaktor

Aufgrund der gesetzlich vorgeschriebenen Allokationsmethode weist die Variante mit BHKW durch die Stromgutschrift den niedrigsten 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.

CO₂-Emissionen

Wie beim Primärenergiefaktor weist die Variante mit BHKW aufgrund der Stromgutschrift auch die geringsten spezifischen CO₂-Emissionen auf. Genauso wie beim Primärenergiefaktor ist auch hier zu erwarten, dass die mit dem Strombezug verbundenen Emissionen zukünftig geringer ausfallen werden.

Die Varianten mit dezentraler Erzeugung weisen die zweit- bzw. drittgeringsten CO₂-Emissionen auf. Aufgrund des ambitionierten Gebäudezustands sind die Energieverluste im Wärmenetz relativ hoch gegenüber dem Gesamtwärmeverbrauch. Dies hat eine unmittelbare Auswirkung auf die CO₂-Emissionen.

Vor- und Nachteile

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

| |  |  |  |
|--------------------------------------|---|--|--|
| 1 Dez. Luft-WP + PV | <ul style="list-style-type: none"> ■ Geringste Investitionskosten ■ Geringste Wärmegestehungskosten ■ Höchster Anteil an erneuerbarer Wärme ■ Synergieeffekte zwischen Wärmepumpe und PV-Anlage ■ Geringe Komplexität und wenig Koordinierungsbedarf | <ul style="list-style-type: none"> ■ Geringste Förderquote | <ul style="list-style-type: none"> ■ Unter Umständen Stromnetzausbau erforderlich ■ Zulässige Schallemissionen der Wärmepumpen beachten |
| 2 Netz Luft-WP | <ul style="list-style-type: none"> ■ Förderquote am höchsten (BEW-förderfähig) | <ul style="list-style-type: none"> ■ Bau Nahwärmenetz erforderlich ■ Hohe Investitionskosten (Wärmenetz) ■ CO₂-Emissionen und Primärenergiefaktor am höchsten | <ul style="list-style-type: none"> ■ Flächenverfügbarkeit für Energiezentrale erforderlich ■ Ein Betreiber muss gesucht werden ■ Zulässige Schallemissionen der Wärmepumpe beachten |
| 3 Netz Geo/Luft-WP | <ul style="list-style-type: none"> ■ Flexible Betriebsweise hinsichtlich der Wahl der Wärmequelle ■ Förderquote am höchsten (BEW-förderfähig) | <ul style="list-style-type: none"> ■ Bau Nahwärmenetz erforderlich ■ Hohe Investitionskosten (Wärmenetz, Erdwärmesonden) ■ Hoher Flächenbedarf | <ul style="list-style-type: none"> ■ Flächenverfügbarkeit für Energiezentrale und Erdsondenfeld erforderlich ■ Genehmigung Erdsonden erforderlich ■ Ein Betreiber muss gesucht werden ■ Zulässige Schallemissionen der Wärmepumpe beachten |
| 4 Netz BHKW + Luft-WP | <ul style="list-style-type: none"> ■ Geringste CO₂-Emissionen und niedrigster Primärenergiefaktor durch gesetzlich vorgeschriebene Allokationsmethode (Stromgutschrift) ■ Synergieeffekte durch BHKW-Eigenstromnutzung für die Wärmepumpe | <ul style="list-style-type: none"> ■ Bau Nahwärmenetz erforderlich ■ Höchste Investitionskosten (Wärmenetz) ■ Platzbedarf in der Energiezentrale ■ Höchste Wärmegestehungskosten | <ul style="list-style-type: none"> ■ Flächenverfügbarkeit für Energiezentrale erforderlich ■ Betreiber muss gesucht werden ■ Zulässige Schallemissionen der Wärmepumpe beachten |
| 5 Dez. Luft-WP + Solarthermie | <ul style="list-style-type: none"> ■ Geringe Wärmegestehungskosten | <ul style="list-style-type: none"> ■ Geringste Förderquote | <ul style="list-style-type: none"> ■ Unter Umständen Stromnetzausbau erforderlich ■ Zulässige Schallemissionen der Wärmepumpen beachten |



**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 / info@gebaeudeforum.de
Internet: www.dena.de / www.gebaeudeforum.de

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

Stand: 03/2024