



Erneuerbare Wärme im Quartier – Erfüllungsoptionen nach GEG 2024

Blockrandbebauung

Sanierungszustand ambitioniert

Das Musterquartier besteht aus drei- bis fünfgeschossigen, gekuppelten Mehrfamilienhäusern mit hoher Bebauungsdichte. Die Blockrandbebauung ist im Stadtzentrum gelegen und wurde bis in die 1920er Jahren gebaut und später nachverdichtet.

Ausgangslage und Annahmen

Die Gebäude sind gut bis sehr gut saniert. Dadurch haben sie einen mittleren spezifischen Wärmebedarf von 80 kWh je m² und Jahr, was der Energieeffizienzklasse C entspricht. Die Fläche je Wohneinheit beträgt 85 m². Insgesamt besteht das Musterquartier aus 24 Treppenaufgängen mit jeweils 12 Wohneinheiten.

Die energetisch nutzbare Freifläche des Quartiers beträgt etwa 20 Prozent der gesamten Quartiersfläche. Diese Freifläche liegt überwiegend auf Gemeinschaftseigentum. Die Eigentümerstruktur ist 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)
- Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe (Abwasser)

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 Vor- und Nachteile aufweisen. 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 1.958 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. Demzufolge können die Gaskessel bei der dezentralen Variante als Spitzenlastkessel weiter in Betrieb bleiben.

Bei einer dezentralen Versorgung über Wärmepumpen können die einzelnen Gebäude höhere Anschlussleistungen bei ihrem Stromanschluss benötigen. Hier sollte frühzeitig mit dem zuständigen Netzbetreiber abgestimmt werden, zu welchem Zeitpunkt der Netzanschluss erfolgen kann.

Für die dezentrale Versorgung wird Photovoltaik-Strom von einer Aufdachanlage des jeweiligen Gebäudes berücksichtigt. Hierfür wurde eine Dachfläche von jeweils 142 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.

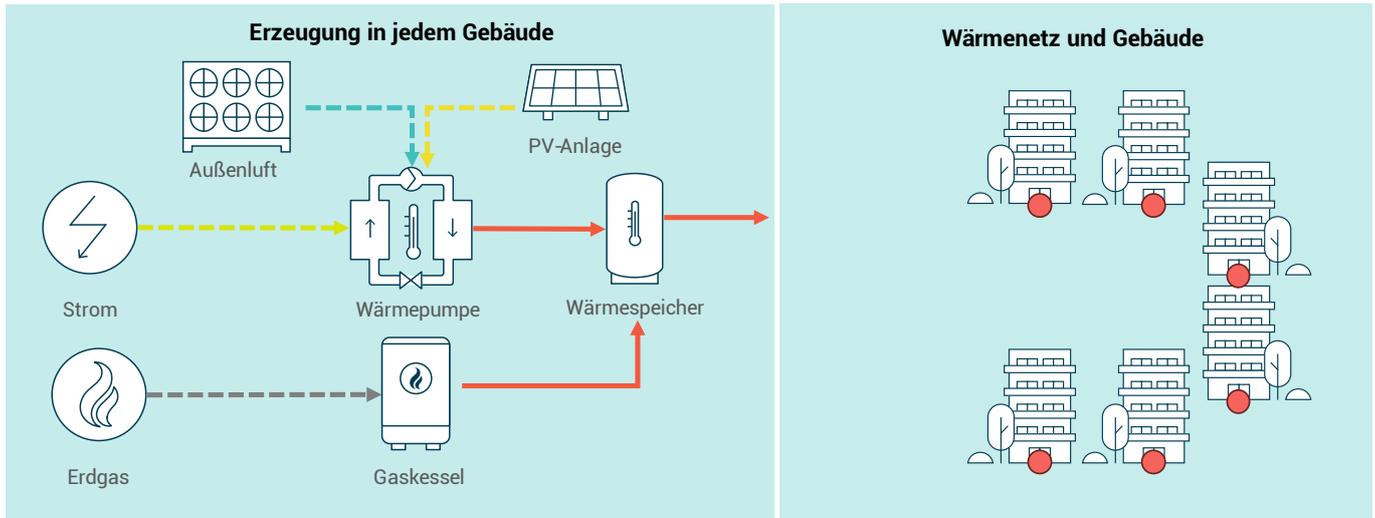
Das Musterquartier wird bei den zentralen Versorgungsvarianten über ein Wärmenetz mit einer Länge von 550 m bei einer Netztemperatur von 60 °C angeschlossen. Die hohe Baudichte und der mittlere Wärmebedarf führen zu einer Wärmelinien-dichte des Nahwärmenetzes von 3,74 MWh/m*a.

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.

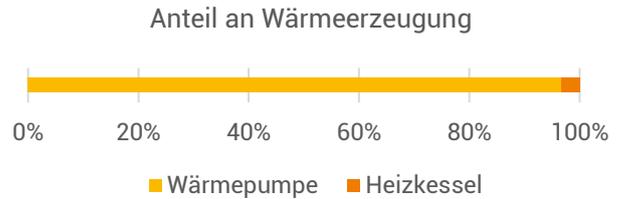
| Blockrandbebauung | |
|-----------------------------|---------------------------|
| Sanierungszustand | ambitioniert |
| Wohneinheiten | 288 |
| Fläche je Wohneinheit | 85 m ² |
| Spezifischer Wärmebedarf | 80 kWh/m ² a |
| davon Trinkwarmwasserbedarf | 12,5 kWh/m ² a |
| Länge des Wärmenetzes | 550 m |
| Wärmelinien-dichte | 3,74 MWh/m |
| Vor-/Rücklauftemperaturen | 55/40 °C |

1 Dezentrale Luftwärmepumpen mit Photovoltaik

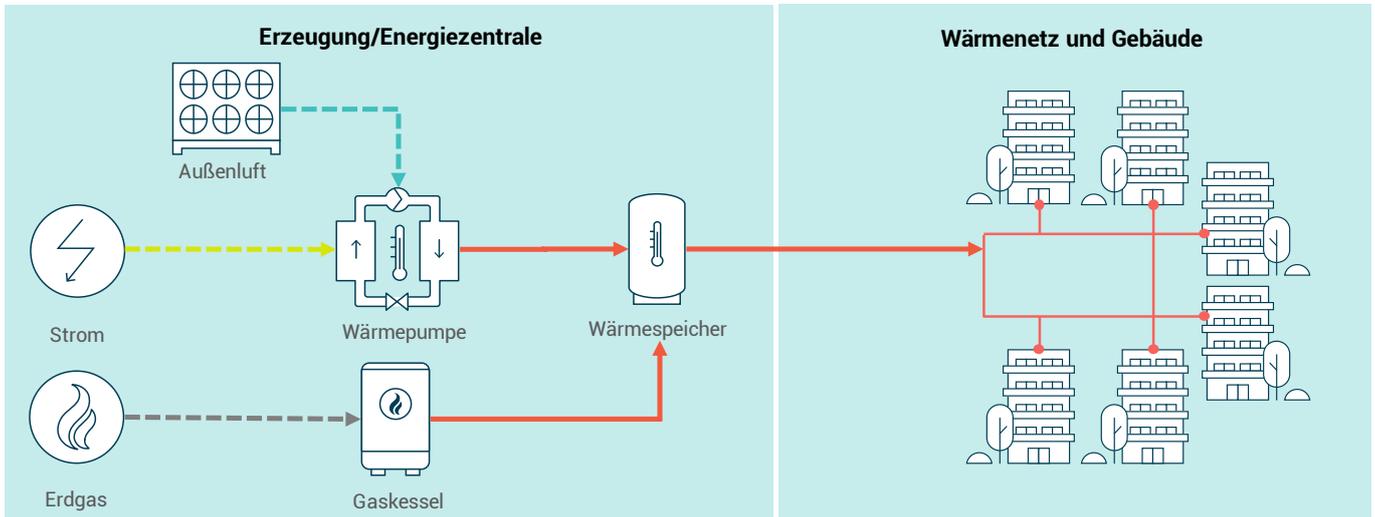


Bei der dezentralen Versorgungsvariante wird in jedem Gebäude eine auf den individuellen Raumwärme- und Trinkwasserbedarf ausgelegte Luftwärmepumpe installiert. Darüber hinaus wird der Strom einer Photovoltaik-Anlage auf dem Dach des Gebäudes zum Betrieb der Wärmepumpe genutzt.

| Anlagenkonfiguration | |
|--------------------------------|------------------|
| Thermische Leistung Wärmepumpe | 24 kW |
| Thermische Leistung Gaskessel | 42 kW |
| Volumen Wärmespeicher | 2 m ³ |

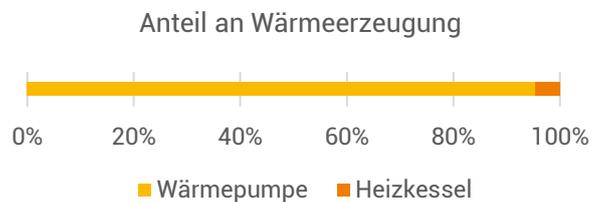


2 Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe (Luft)

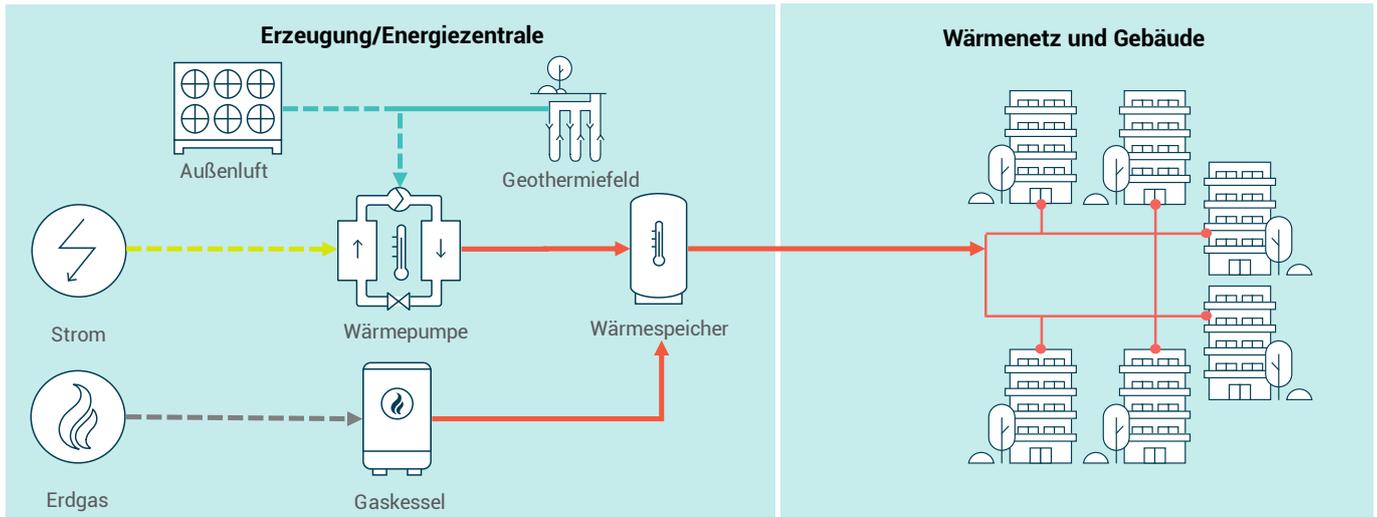


Bei dieser Variante erfolgt die Wärmeversorgung des Quartiers über eine zentrale Luftwärmepumpe und einen Gaskessel. Die Wärmeerzeuger speisen in ein Nahwärmenetz ein, über das die einzelnen Gebäude mit Wärme versorgt werden.

| Anlagenkonfiguration | |
|--------------------------------|-------------------|
| Thermische Leistung Wärmepumpe | 510 kW |
| Thermische Leistung Gaskessel | 1.063 kW |
| Volumen Wärmespeicher | 30 m ³ |

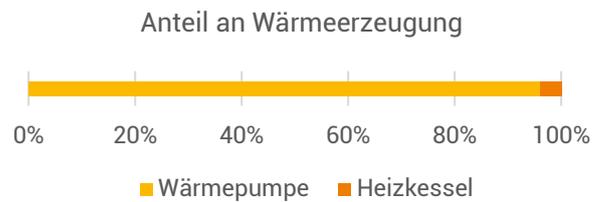


3 Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe (Luft und Geothermie)

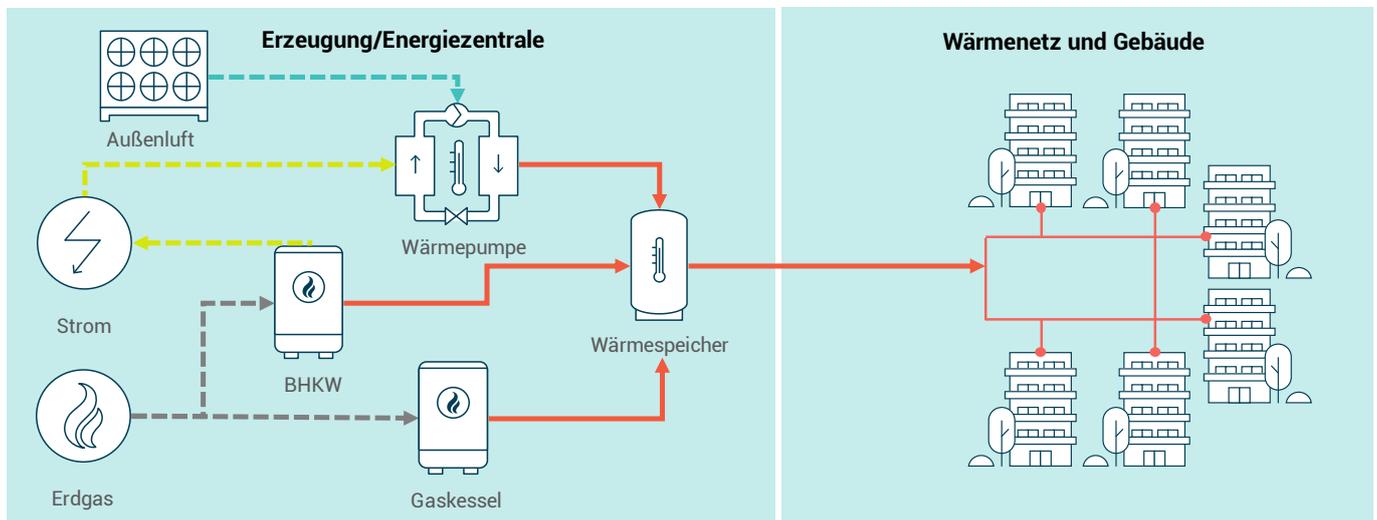


Bei dieser Variante erfolgt die Wärmeversorgung des Quartiers wie bei Variante 2 über eine zentrale Wärmepumpe und einen Gaskessel. Als Wärmequelle wird neben der Außenluft ein Erdsondenfeld genutzt.

| Anlagenkonfiguration | |
|--------------------------------|-------------------|
| Thermische Leistung Wärmepumpe | 510 kW |
| Anzahl Erdsonden | 51 |
| Thermische Leistung Gaskessel | 1.063 kW |
| Volumen Wärmespeicher | 30 m ³ |

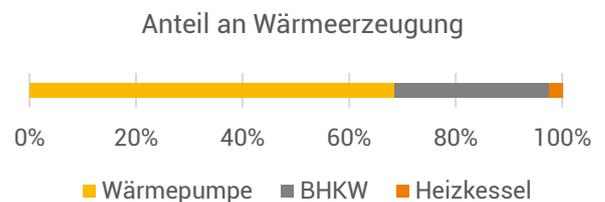


4 Wärmenetz mit Blockheizkraftwerk und zentraler Wärmepumpe (Luft)

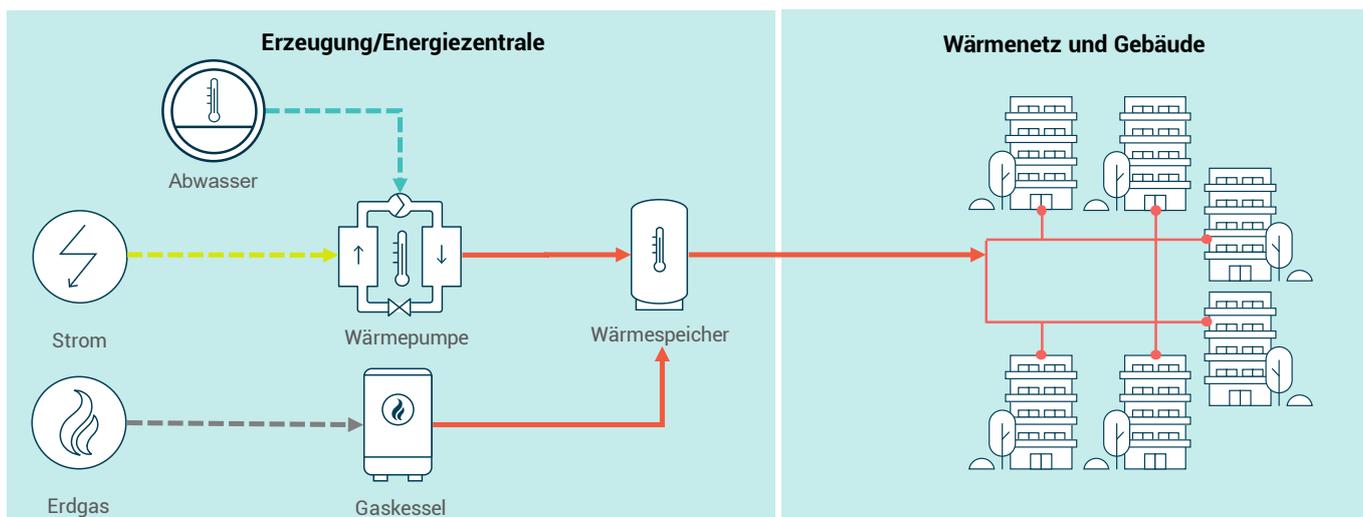


Bei dieser Variante erfolgt die Wärmeversorgung des Quartiers über eine zentrale Luftwärmepumpe, ein Blockheizkraftwerk (BHKW) und einen Gaskessel.

| Anlagenkonfiguration | |
|--------------------------------|-------------------|
| Thermische Leistung Wärmepumpe | 150 kW |
| Elektrische Leistung BHKW | 123 kW |
| Thermische Leistung BHKW | 196 kW |
| Thermische Leistung Gaskessel | 1.063 kW |
| Volumen Wärmespeicher | 30 m ³ |

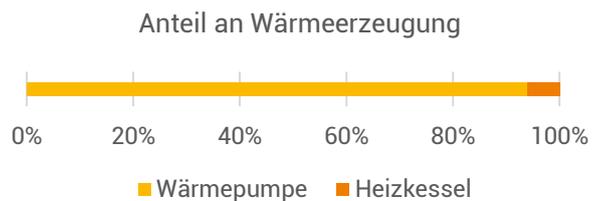


5 Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe (Abwasser)



Die Wärmeversorgung bei Variante 5 erfolgt ebenfalls über ein Nahwärmenetz, an das die einzelnen Gebäude des Quartiers angeschlossen sind. Gespeist wird dieses Nahwärmenetz aus einer Energiezentrale von einer zentralen Wärmepumpe, die die Wärme eines standortspezifischen und hier exemplarisch gewählten Abwassersieles als Wärmequelle nutzt, und einem Spitzenlastkessel auf Erdgasbasis.

| Anlagenkonfiguration | |
|--------------------------------|-------------------|
| Thermische Leistung Wärmepumpe | 350 kW |
| Thermische Leistung Gaskessel | 1.063 kW |
| Volumen Wärmespeicher | 30 m ³ |

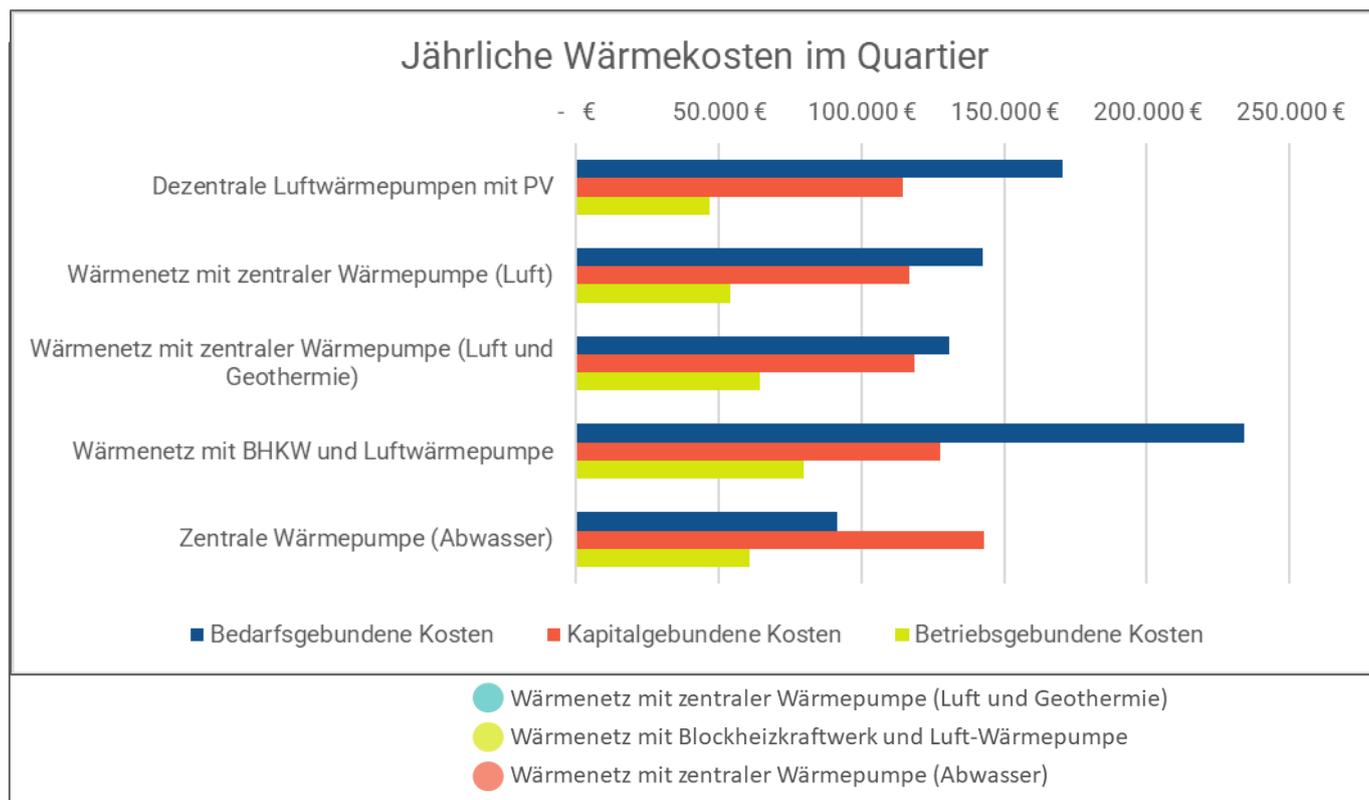


Ergebnisse des Variantenvergleichs

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 dezentrale Variante 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 höchsten Wärmegestehungskosten weist die zentrale Variante mit BHKW auf. Geringere Wärmegestehungskosten sind in der dezentralen Variante zu verzeichnen, wobei die geringsten in den restlichen wärmenetzbasierten Versorgungsvarianten zu verzeichnen sind. Hierbei ist unerheblich ob es Wärmepumpen mit Luft, Luft und Geothermie in Kombination oder Abwasser sind.

Die Luftwärmepumpe weist in der zentralen Variante mit Wärmenetz geringere Kosten auf als in der dezentralen Variante und zeigt so den Mehrwert einer Quartierslösung. Die Kombination der Wärmequellen Luft und Geothermie ist nicht günstiger als die Luft-Variante. Dies ist auf das begrenzte Platzangebot zurückzuführen, aufgrund dessen nicht die optimale Anzahl an Erdwärmesonden gebohrt werden kann. Den recht hohen Investitionskosten steht deshalb nur ein eingeschränkter Nutzen gegenüber.

Der blaue Balken der bedarfsgebundenen Kosten ist bei allen Varianten dominierend und damit ausschlaggebend für die Gesamtkosten der Wärmeerzeugung. Nur bei der Versorgungsvariante mit Abwasserwärmenutzung liegen die kapitalgebundenen Kosten über den bedarfsgebundenen Kosten. 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

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.

Den zweitbesten Primärenergiefaktor weist die Variante der Abwasserwärmenutzung 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.

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.

Vor- und Nachteile

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

| |  |  |  |
|------------------------------|--|---|--|
| 1 Dez. Luft-WP + PV | <ul style="list-style-type: none"> Hoher Anteil an erneuerbarer Wärme Synergieeffekte zwischen Wärmepumpe und PV-Anlage | <ul style="list-style-type: none"> Höchster Primärenergiefaktor 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"> Geringe Wärmegestehungskosten Hoher Anteil an erneuerbarer Wärme Förderquote am höchsten (BEW-förderfähig) | <ul style="list-style-type: none"> Bau Nahwärmenetz erforderlich Hohe Investitionskosten (Wärmenetz) CO₂-Emissionen 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"> Geringe Wärmegestehungskosten Hoher Anteil an erneuerbarer Wärme 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) Hoher Anteil an erneuerbarer Wärme Synergieeffekte durch BHKW-Eigenstromnutzung für die Wärmepumpe | <ul style="list-style-type: none"> Bau Nahwärmenetz erforderlich Hohe 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 Netz Abwasser-WP | <ul style="list-style-type: none"> Geringe Wärmegestehungskosten Hoher Anteil an erneuerbarer Wärme | <ul style="list-style-type: none"> Seltene Verfügbarkeit Abstimmung mit Abwasserbetrieben notwendig | <ul style="list-style-type: none"> Unter Umständen größerer Wartungsaufwand durch wiederkehrende Reinigungen |



**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