



Erneuerbare Quartiersversorgung auf Nahwärmebasis

Ein- und Zweifamilienhaussiedlung

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

Ausgangslage und Annahmen

Die Gebäude sind energetisch nicht wesentlich saniert. Dadurch haben sie einen mittleren spezifischen Wärmebedarf von 225 kWh je m² und Jahr, was der Energieeffizienzklasse G 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 beträgt die energetisch nutzbare Freifläche des Quartiers etwa 50 % der gesamten Quartiersfläche. Diese Freifläche liegt überwiegend auf privaten Grundstücken und gehört den Einzeleigentümern. Dadurch ist die Eigentümerstruktur sehr heterogen.

Folgende vier Versorgungsvarianten werden für ein Quartier dieses Siedlungstyps betrachtet. Alle Varianten werden durch einen direktelektrischen Spitzenlasterzeuger ergänzt.

Bei der Variante mit zentraler Luft-Wärmepumpe wird alternativ der Einsatz eines Gaskessels zur Deckung der Spitzenlast betrachtet.

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

Die dargestellten Versorgungsvarianten sind gängige Lösungen mit individuellen Vor- und Nachteilen. Sie veranschaulichen mögliche Technologien zur Versorgung mit erneuerbaren Energien. In realen Quartieren muss die Auswahl eines geeigneten Konzepts stets unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten erfolgen.

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

Allen betrachteten Varianten liegt ein Musterquartier mit einem jährlichen Wärmebedarf von 1.520 MWh und einer Vorlauftemperatur von 75 °C zugrunde.

Bei einer dezentralen Versorgung über Wärmepumpen ist davon auszugehen, dass die einzelnen Gebäude höhere elektrische Anschlussleistungen benötigen. Daher sollte frühzeitig mit dem Netzbetreiber abgestimmt werden, welche Netzkapazitäten in dem Quartier noch verfügbar sind und ob diese für eine Wärmepumpenlösung ausreichen. Gegebenenfalls sind Netzverstärkungsmaßnahmen erforderlich, die Tiefbaumaßnahmen im öffentlichen Straßenraum nach sich ziehen.

Neben der dezentralen Erzeugung im jeweiligen Gebäude kann der Wärmebedarf auch aus zentraler Erzeugung über ein Wärmenetz gedeckt werden. Für ein Wärmenetz müssen Leitungen verlegt werden, wofür ebenfalls Tiefbauarbeiten notwendig sind.

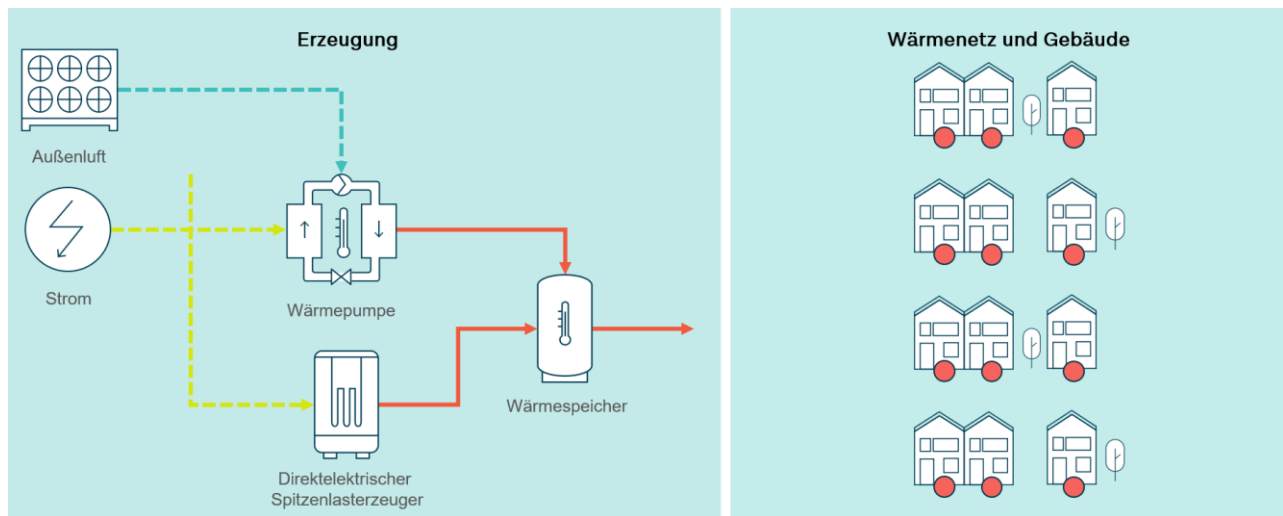
Das Musterquartier wird bei den zentralen Versorgungsvarianten über ein Wärmenetz mit einer Länge von 900 m erschlossen. Durch den großen Abstand der Gebäude zueinander und dem daraus resultierenden geringen Wärmebedarf je Trassenmeter ergibt sich eine Wärmeliniendichte von 1,7 MWh/m*a.

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

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

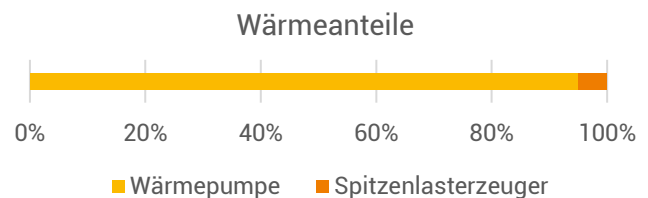
Ein- und Zweifamilienhaussiedlung	
Sanierungszustand	teilsaniert
Wohneinheiten	45
Fläche je Wohneinheit	150 m ²
spez. Wärmebedarf	225 kWh/m ² a
davon Trinkwarmwasser-Bedarf	12,5 kWh/m ² a
Länge des Wärmenetzes	900 m
Wärmeliniendichte	1,7 MWh/m*a
Vor-/Rücklauftemperaturen	75/55 °C

1 Dezentrale Luftwärmepumpen

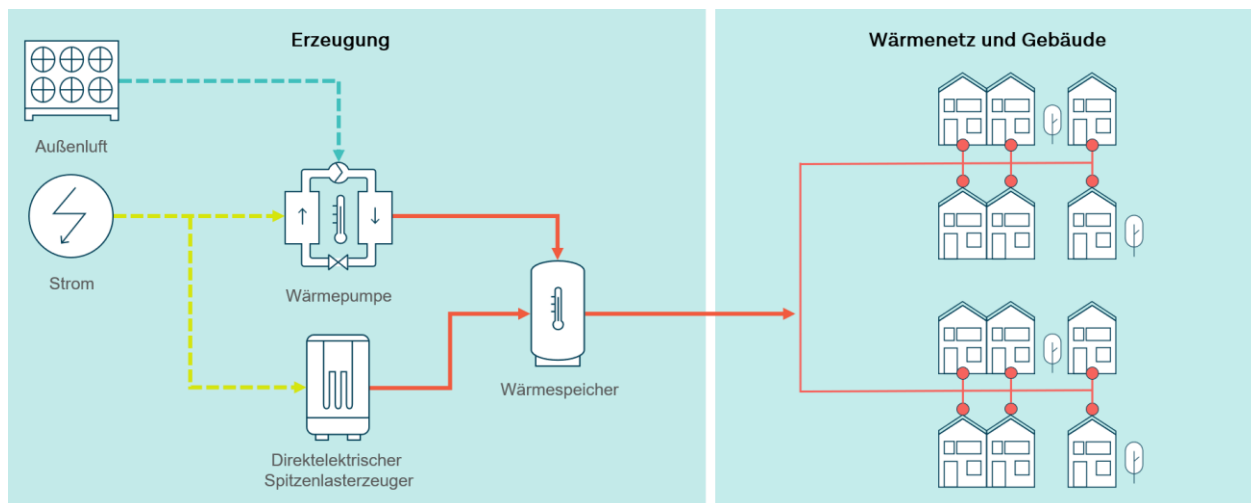


Bei der dezentralen Versorgungsvariante wird in jedem Gebäude eine auf den individuellen Raumwärme- und Trinkwarmwasserbedarf ausgelegte Luftwärmepumpe installiert. Der Einsatz einer Photovoltaikanlage kann dabei sinnvoll sein, wird zugunsten der Vergleichbarkeit im vorliegenden Variantenvergleich jedoch nicht berücksichtigt.

Anlagenkonfiguration	
Thermische Leistung Wärmepumpe	14 kW
Thermische Leistung Spitzenlastzeuger	19 kW
Volumen Wärmespeicher	0,5 m ³

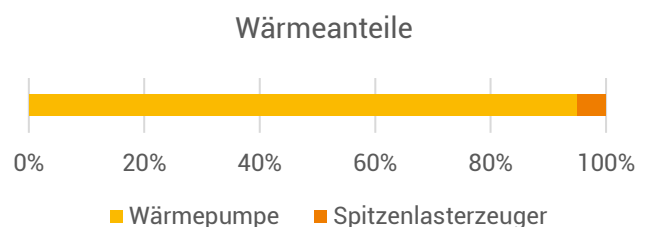


2 Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe (Luft)

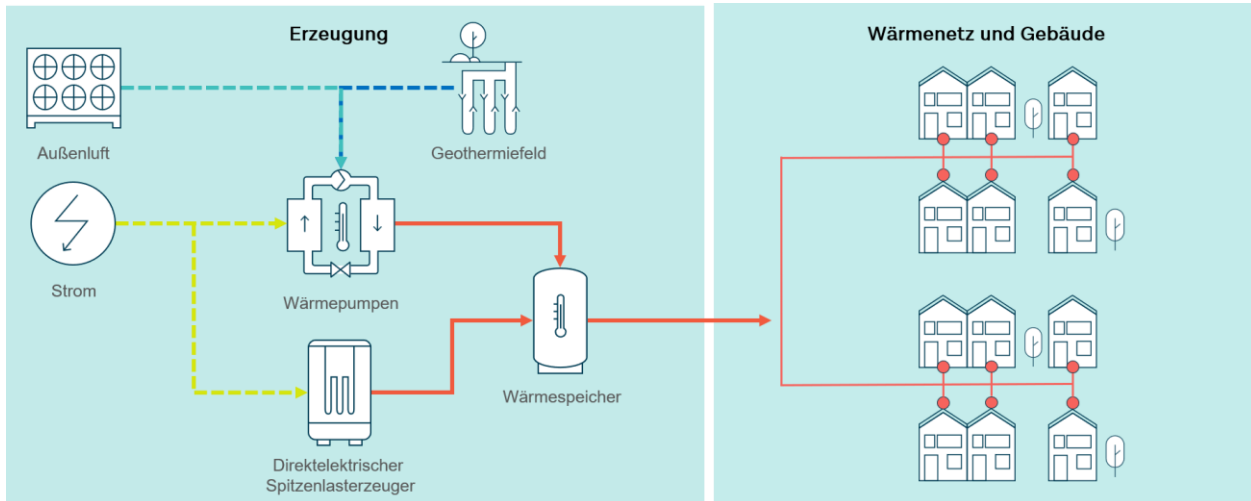


Bei dieser Variante erfolgt die Wärmeversorgung über eine zentrale Luftwärmepumpe und einen direktelektrischen Spitzenlastzeuger. Zum Vergleich wird auch die Variante 2b mit einem Gaskessel zur Spitzenlastdeckung betrachtet, die schematisch nicht abgebildet ist.

Anlagenkonfiguration	
Thermische Leistung Wärmepumpe	540 kW
Thermische Leistung direktelektrischer Spitzenlastzeuger (2a)	920 kW
Thermische Leistung Gaskessel (2b)	920 kW
Volumen Wärmespeicher	10 m ³

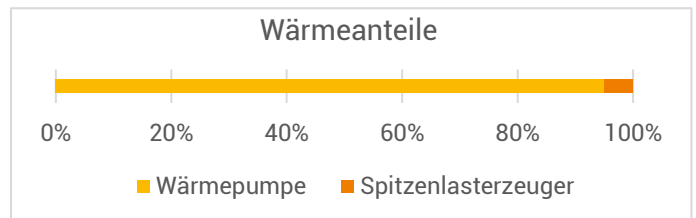


3 Wärmenetz mit zentraler Wärmepumpe (Luft und Geothermie)

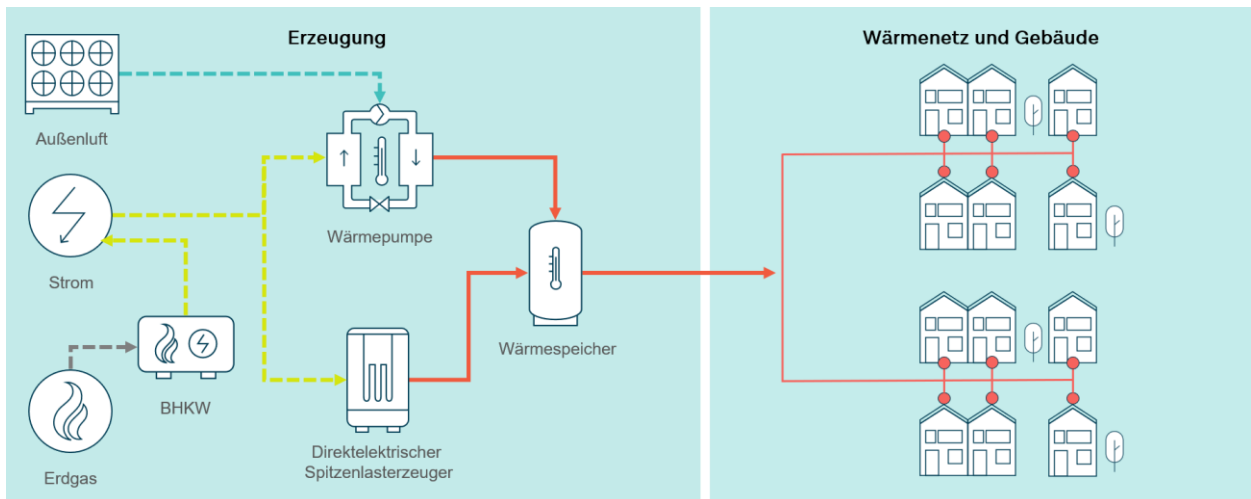


Bei dieser Variante erfolgt die Wärmeversorgung des Quartiers wie bei der Variante 2 über eine zentrale Wärmepumpe und einen direktelektrischen Spitzenlasterzeuger. Als Wärmequelle wird neben der Außenluft ein Erdsondenfeld genutzt.

Anlagenkonfiguration	
Thermische Leistung Wärmepumpe	540 kW
Anzahl Erdsonden	47
Thermische Leistung Spitzenlasterzeuger	920 kW
Volumen Wärmespeicher	10 m³

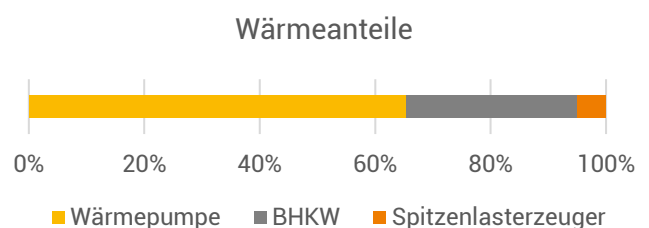


4 Wärmenetz mit Blockheizkraftwerk und zentraler Wärmepumpe (Luft)



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

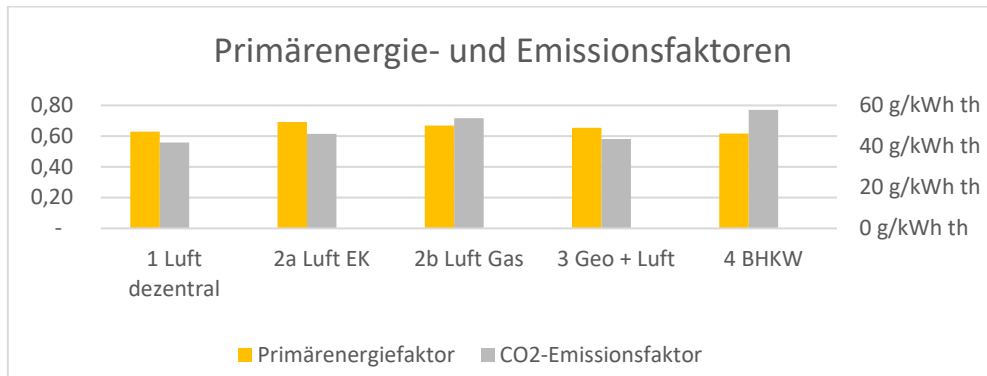
Anlagenkonfiguration	
Thermische Leistung Wärmepumpe	270 kW
Elektrische Leistung BHKW	100 kW
Thermische Leistung BHKW	160 kW
Thermische Leistung Spitzenlasterzeuger	920 kW
Volumen Wärmespeicher	10 m³



Ergebnisse des Variantenvergleichs

Die vorgestellten Versorgungsvarianten werden im Hinblick auf ökonomische und ökologische Kriterien verglichen. Bei den ökonomischen Kriterien werden die Investitionskosten einschließlich potenzieller Förderungen sowie die Energiekosten und deren prognostizierte Entwicklung betrachtet und qualitativ verglichen.

Als ökologische Kennzahlen werden die spezifischen CO₂-Emissionen und Primärenergiefaktoren ermittelt und verglichen. Grundlage der Berechnungen sind die ab dem 01.01.2027 geltende Methodiken im GModG sowie die in den Anlagen 4 und 9 des GModG festgelegten Faktoren.



Primärenergiefaktor

Die Variante 4 mit Blockheizkraftwerk und zentraler Luft-Wärmepumpe weist auch bei Anwendung der Carnot-Methode den niedrigsten Primärenergiefaktor auf. Bei den Wärmepumpenvarianten wird der Primärenergiefaktor maßgeblich durch den Bezug von Netzstrom bestimmt. Mit steigender Effizienz der Wärmepumpe sinkt daher auch der Primärenergiefaktor. Den niedrigsten Primärenergiefaktor unter den reinen zentralen Wärmepumpenvarianten weist aufgrund der höheren Effizienz die Kombination aus Luft und Geothermie auf. Die dezentrale Luft-Wärmepumpe weist aufgrund fehlender Netzverluste und geringeren Pumpenstroms einen niedrigeren Primärenergiefaktor als die zentralen Wärmepumpen auf.

Der Primärenergiefaktor der Variante mit zentraler Luft-Wärmepumpe und Gaskessel zur Deckung der Spitzenlast ist niedriger als bei einem direktelektrischen Spitzenlasterzeuger. Ursache hierfür ist, dass der Primärenergiefaktor von Erdgas mit 1,1 unter dem des netzbezogenen Stroms mit 1,5 liegt. Durch die Erzeugung und Nutzung erneuerbaren Stroms, beispielsweise über Photovoltaikanlagen, kann der Primärenergiefaktor zusätzlich gesenkt werden.

CO₂-Emissionen

Nach der dezentralen Variante weist die zentrale Wärmepumpenvariante 3 mit Luft und Geothermie die geringsten Emissionen aus. Aufgrund des deutlich geringeren CO₂-Emissionsfaktors von Strom von 100 g_{CO₂-äq}/kWh gegenüber Erdgas von 240 g_{CO₂-äq}/kWh, fallen die spezifischen Emissionen der rein strombasierten Varianten geringer aus als die Varianten mit Erdgasanteil. Mit einem steigenden Anteil erneuerbarer Energien im Strommix können die strombezogenen Emissionen der Varianten künftig weiter sinken.

Wärmekosten

Bei einer Wärmelinienichte von rund 1,7 MWh/m*a lässt sich nicht eindeutig bestimmen, ob eine zentrale oder dezentrale Wärmeversorgung wirtschaftlicher ist. Dies hängt maßgeblich von den lokalen Gegebenheiten ab, wie beispielsweise von den Kosten für die Verlegung des Wärmenetzes.

Im Vergleich der zentralen Versorgungsvarianten stellt die zentrale Luft-Wärmepumpe langfristig die wirtschaftlichste Lösung dar. Sie weist geringere Investitionskosten auf als eine Sole-Wärmepumpe mit Erdsonden. Geothermie ermöglicht zwar einen effizienteren Betrieb, erfordert jedoch insbesondere für das Erdsondenfeld höhere Investitionen. Die Wirtschaftlichkeit der BHKW-Variante hängt wesentlich von der Vergütung des erzeugten Stroms und dem Eigenverbrauchsanteil ab.

Die Investitionskosten der zentralen Versorgungsvarianten können bei Erfüllung der Fördervoraussetzungen grundsätzlich über die Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW) mit bis zu 40 % gefördert werden. Die direktelektrischen Erzeuger, Gaskessel und BHKWs sind dabei jedoch nicht förderfähig. Hinzu kommt eine Betriebskostenförderung für die Wärmepumpen. Dezentrale Wärmepumpen können im Rahmen der BEG gefördert werden.

Für die langfristige Bewertung ist außerdem die Entwicklung der Energiekosten relevant. Da für Erdgas aufgrund des CO₂-Preises und der steigenden Netzentgelte ein stärkerer Kostenanstieg als für Strom prognostiziert wird, verbessert sich gegebenenfalls die relative Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpenvarianten künftig weiter.

Ergebnisse des Variantenvergleichs im ambitionierten Sanierungszustand

Ergänzend werden die gleichen Varianten unter den Rahmenbedingungen eines ambitionierten Sanierungszustands miteinander verglichen. Der Wärmebedarf beträgt in diesem Szenario 610 MWh/a und liegt damit rund 60 % unter dem Wärmebedarf des teilsanierten Zustands. Die Bewertung erfolgt dabei ebenfalls unter ökonomischen und unter ökologischen Gesichtspunkten.

Folgende Annahmen wurden für das Quartier getroffen:

Ambitionierter Sanierungszustand	
spez. Wärmebedarf	90 kWh/m ² a
davon Trinkwarmwasser-Bedarf	12,5 kWh/m ² a
Wärmeliniendichte	0,7 MWh/m
Vor-/Rücklauftemperaturen	55/40 °C

Primärenergiefaktor

Auch im ambitionierten Sanierungszustand weist die Variante mit Blockheizkraftwerk und Luft-Wärmepumpe den niedrigsten Primärenergiefaktor auf.

Durch eine weitere Effizienzsteigerung der Wärmepumpen, beispielsweise durch die Verringerung des Temperaturhubs, sinkt der erforderliche Stromeinsatz. Dadurch reduziert sich auch der Primärenergiefaktor.

CO₂-Emissionen

Im ambitionierten Sanierungszustand weist die Variante 4 (BHKW), anders als im teilsanierten Zustand, die geringsten CO₂-Emissionen auf. Grund dafür ist die Anwendung der Carnot-Methode zur Aufteilung der Emissionen auf Strom- und Wärmeerzeugung. Aufgrund des niedrigeren Temperaturniveaus im sanierten Quartier wird der Wärmeerzeugung ein geringerer Anteil der BHKW-Emissionen zugerechnet. Dadurch fallen die bilanzierten CO₂-Emissionen der Wärmeversorgung niedriger aus.

Wärmekosten

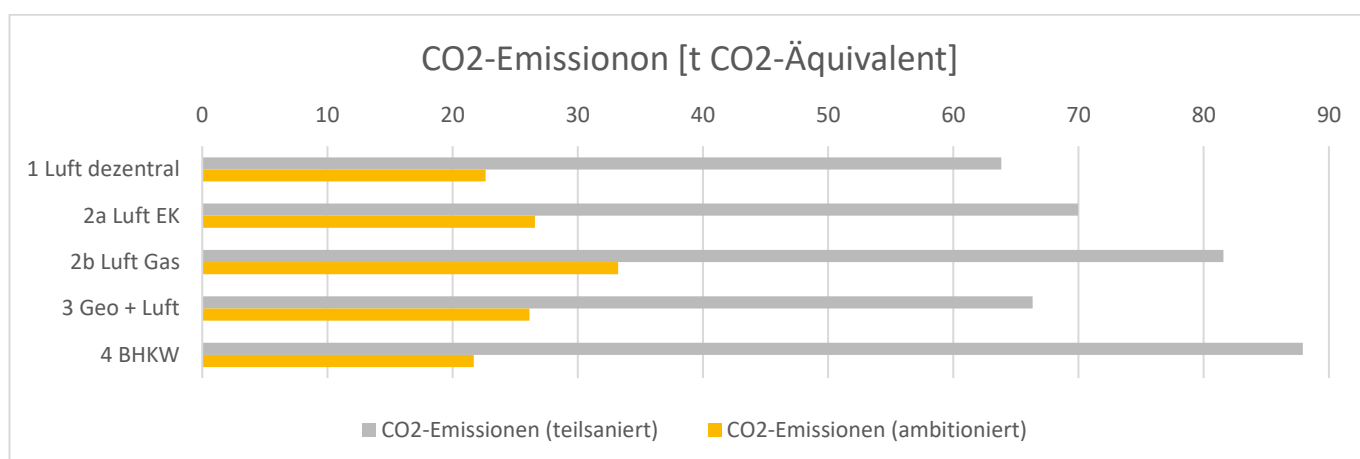
Aufgrund der geringen Wärmeliniendichte ist die dezentrale Wärmeversorgung wirtschaftlicher als die zentrale Versorgung.

Aufgrund des geringeren Wärmebedarfs und der damit verbundenen niedrigeren Heizlast können die Anlagengrößen kleiner dimensioniert werden, wodurch die Investitionskosten sinken. Gleichzeitig reduziert sich durch die höhere Effizienz der Brennstoff- beziehungsweise Strombedarf. Dadurch ergeben sich trotz höherer spezifischer Wärmekosten niedrigere Gesamtwärmekosten.

Der geringere Brennstoff- beziehungsweise Strombedarf verringert zudem die Abhängigkeit von zukünftigen Energiepreisentwicklungen.

Vergleich der Sanierungszustände

Trotz der vergleichbaren spezifischen Emissionsfaktoren im ambitionierten und teilsanierten Sanierungszustand bestehen deutliche Unterschiede hinsichtlich der absoluten CO₂-Emissionen, wie die nachfolgende Abbildung zeigt.



Vor- und Nachteile

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

			
1 Dez. Luft-WP	- Geringe Investitionskosten (kein Wärmenetz erforderlich) - Synergieeffekte zwischen Wärmepumpe und PV-Anlage möglich - BEG-Förderung (30 – 70 %)	- Hohe Gesamt-Wärmekosten - Höherer Platzbedarf im Heizkeller	- Unter Umständen Stromnetzausbau erforderlich - Zulässige Schallemissionen der Wärmepumpe beachten
2 Netz Luft-WP	- Hohe Förderquote (BEW förderfähig) - Geringste langfristige Gesamtwärmekosten	- Hohe Investitionskosten des Wärmenetzes - Geringere Effizienz	- Flächenverfügbarkeit für Energiezentrale erforderlich - Betreiber erforderlich - Zulässige Schallemissionen der Wärmepumpe beachten
3 Netz Geo/Luft-WP	- Hohe Effizienz durch höhere Quelltemperatur im Winter - Höchster Anteil an erneuerbarer Wärme - Hohe Förderquote (BEW förderfähig)	- Höchste Investitionskosten (Wärmenetz, Erdwärmesonden) - Hoher Flächenbedarf	- Flächenverfügbarkeit für Energiezentrale und Erdsondenfeld erforderlich - Genehmigung Erdsonden erforderlich - Betreiber erforderlich - Zulässige Schallemissionen der Wärmepumpe beachten
4 Netz BHKW + Luft-WP	- Niedrigster Primärenergiefaktor nach GModG-Vorgabe - Synergieeffekte durch BHKW-Eigenstromnutzung für die Wärmepumpe	- Hohe Investitionskosten des Wärmenetzes - Platzbedarf in der Energiezentrale - Steigende Energiekosten für Erdgas - CO₂-Emissionen am höchsten	- Flächenverfügbarkeit für Energiezentrale erforderlich - Betreiber erforderlich - Zulässige Schallemissionen der Wärmepumpe beachten



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

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

Kontakt:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Andreas Koch
Teamleiter, Urbane Energiewende
Chausseestraße 128 a, 10115 Berlin
Tel.: +49 30 66 777-416
E-Mail: Andreas.Koch@dena.de

E-Mail: info@dena.de / info@gebaeudeforum.de
Internet: www.dena.de / www.gebaeudeforum.de

Erstellt mit fachlicher Unterstützung von Megawatt Ingenieurgesellschaft mbH, Berlin

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

Stand: 10/2026