

# ERGÄNZUNG ZUM ENERGIELEITPLAN DER STADT KARLSRUHE

SEPTEMBER 2024



# ERGÄNZUNG ZUM ENERGIELEITPLAN DER STADT KARLSRUHE

<b>Auftraggeberin</b>	Stadt Karlsruhe / Umwelt- und Arbeitsschutz Markgrafenstr. 14 76133 Karlsruhe umwelt-arbeitsschutz@karlsruhe.de
<b>Auftragnehmer 1</b>	Tilia GmbH Inselstraße 31 04103 Leipzig Ansprechpartner: André Ludwig andre.ludwig@tilia.info +49 173 3781082
<b>Auftragnehmer 2</b>	Smart Geomatics Informationssysteme GmbH Ebertstr. 8 76137 Karlsruhe Ansprechpartner: Thomas Beck thomas.beck@smartgeomatics.de +49 721 945 40 59-0
<b>Autor*innen des Berichts</b>	André Ludwig, Markus Bolz, Wolfgang Spaich, Thomas Beck (Smart Geomatics), Tina Henzler (Smart Geomatics)
<b>Veröffentlichung</b>	09/2024

## INHALTSVERZEICHNIS

0	AUSGANGSITUATION.....	4
1	NEUES ZIELSZENARIO 3: ANGEPASSTE SANIERUNGSRATE .....	5
2	WÄRMEPUMPENLÖSUNGEN .....	14
2.1	Wärmepumpen-Typen .....	16
2.2	Technische Restriktionen und ihre Lösung .....	17
2.2.1	Schallemissionen.....	17
2.2.2	Hohe Heizungs-Vorlauftemperatur.....	19
2.2.3	Gebäude mit Gas-Etagenheizung oder Nachtspeicherheizungen.....	20
2.3	Mini-Wärmenetze.....	21
2.4	Konkretisierung potenzieller erneuerbarer Wärmequellen für Wärmepumpen im Eignungsgebiet Einzelheizung .....	22
2.5	Ausblick: Weitere Entwicklung bei Wärmepumpen .....	24
3	TIEFENGEOTHERMIE.....	25
3.1	Stand der Planungen möglicher Tiefeengeothermiebohrungen.....	25
3.2	Stand der Technik bei saisonalen Wärmespeichern.....	27
4	ANLAGEN .....	30

## 0 AUSGANGSITUATION

Die Stadt Karlsruhe hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2040 klimaneutral zu sein. Der im Herbst 2023 von der Stadt Karlsruhe der Öffentlichkeit vorgestellte und vom Gemeinderat beschlossene Energieleitplan hat im Rahmen der Bürgerbeteiligung unterschiedliche Reaktionen hervorgerufen. Einige der eingegangenen Hinweise, die nicht bereits vor der Beschlussfassung im Gemeinderat in den Plan eingearbeitet werden konnten, sollen mit dieser Ergänzung zum Energieleitplan aufgegriffen und beantwortet werden. Dazu gehört die Erstellung eines weiteren Zielszenarios, da die im Energieleitplan angenommene Sanierungsrate von 4,8 % zur Erreichung der Klimaneutralität als sehr ambitioniert angesehen wurde und durch eine moderatere Variante ergänzt werden soll. Zusätzlich gab es Forderungen nach konkreten Hinweisen für Situationen in Einzelheizungsgebieten, in denen Wärmepumpen als Einzellösungen schwer umsetzbar sind. Es wurde außerdem der Wunsch geäußert, Lösungen für eine beschleunigte Defossilisierung der Fernwärme zu finden. Ergänzend zur bereits kommunizierten Strategie der Stadtwerke soll daher die Gewinnung von Wärme aus Tiefengeothermie stärker in den Fokus gerückt und aktuelle Informationen zu einem möglichen Zeitplan untersucht werden.

Diese Anregungen sind die Grundlage für die nachfolgend beschriebenen Ergänzungen, die aufbauend auf dem fertiggestellten Energieleitplan erarbeitet wurden.

## 1 NEUES ZIELSZENARIO 3: ANGEPASSTE SANIERUNGSRATE

Im Zielszenario 2 „Klimaneutralität bis 2040“ des Energieleitplans von 2023 wird von einer jährlichen Sanierungsrate von 4,8 % ausgegangen. Unter Sanierung wird hier die Wärmedämmung der Gebäude auf den KfW 100-Standard **und** die gleichzeitige Umstellung des fossilen Energieträgers der Heizungen auf regenerative Energien verstanden. Diese Sanierungsrate wurde aus dem Ziel der Klimaneutralität bis 2040 errechnet und würde bedeuten, dass nahezu sämtliche Gebäude in der Stadt mit einer Wärmedämmung versehen werden und gleichzeitig die Heizungsanlagen von fossilen Energieträgern, also Erdgas bzw. Heizöl, auf Erneuerbare Energien oder Fernwärme umgebaut werden müssten. In den Einzelheizungsgebieten wird ein Umstieg auf Wärmepumpen angenommen.

In einem neuen Zielszenario 3 wird nun davon ausgegangen, dass die Wärmedämmung der Gebäude und die Umstellung der Heizungssysteme **getrennt** erfolgen und unterschiedlich schnell voranschreiten. Dies bedeutet, dass in diesen Fällen zuerst die Heizungsanlage ausgetauscht wird, bevor das gesamte Gebäude saniert wird, da die Kosten der Gebäudesanierung wesentlich höher liegen als nur der Austausch der Heizungsanlage. Auch im neuen Gebäudeenergiegesetz (GEG) gibt es keine Vorgabe für Sanierungen, sondern nur Vorgaben zum Energieträgerwechsel. Der Tausch der Heizungsanlagen wird vom Bund über die „Bundesförderung für effiziente Gebäude - Einzelmaßnahmen (BEG EM)“ mit bis zu 70 % gefördert. Dieses Programm wird zu einem beschleunigten Heizungswechsel beitragen.

Die Umstellung der Heizungsanlage vor der Sanierung ist technisch machbar, weil inzwischen am Markt auch moderne Wärmepumpen angeboten werden, die höhere Vorlauftemperaturen von 60 °C bis 70 °C erreichen und dabei trotzdem die von der KfW geforderten Effizienzwerte erreichen, also keinen wesentlich höheren spezifischen Stromaufwand pro erzeugter Wärmemenge benötigen. Damit können auch unsanierte Altbauten ohne vorherige Wärmedämmung wirtschaftlich mit Wärmepumpen beheizt werden.

Für dieses **neue Zielszenario** soll nunmehr für die **Wärmedämmung** eine **niedrigere Sanierungsrate von 2,0 %** (anstelle von 4,8 % im Energieleitplan von 2023) zugrunde gelegt werden. Dieser Wert liegt leicht über dem Wert von 1,6 %, der für Deutschland in den nächsten Jahren erwartet wird und bereits im Zielszenario 1 des Energieleitplans zugrunde gelegt wurde.<sup>1</sup>

Die deutlich höhere Geschwindigkeit bei der **Umstellung der Heizungen** mit einer Austauschrate von 4,8 % ergibt sich weiterhin aus dem Ziel der Klimaneutralität bis 2040. Somit wird die im Energieleitplan angenommene Geschwindigkeit beibehalten, auch beim Anschluss an Fernwärme bzw. beim Anschluss an Wärmenetze. Dies bedeutet, dass die zugrunde gelegte Geschwindigkeit der Umstellung von fossilen Heizsystemen auf Wärmepumpen in den Gebieten, in denen Einzelheizungen vorhanden sind, unverändert bleibt.

Auf Basis der im Energieleitplan erhobenen Gebäudedaten von 2019 wurde ermittelt, **wie viele Wohngebäude** im Gebiet von Einzelheizungen mit Erdgas bzw. Öl auf Wärmepumpen umgestellt

---

<sup>1</sup> Auswirkungen des Gebäudeenergiegesetzes auf Wohngebäude, EWI – Insights vom 20.06.2023 Folie 7; online abrufbar unter [https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2023/06/230620\\_EWI-Insights\\_Gebaeudeenergiegesetz.pdf](https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2023/06/230620_EWI-Insights_Gebaeudeenergiegesetz.pdf); zuletzt abgerufen 17.07.2024

werden müssen, um das Ziel der Klimaneutralität bis 2040 zu erreichen. In einer Herleitung (**Anlage 1**) wurde ermittelt, dass dies in Karlsruhe rund **18.500 Gebäude bzw. Wärmepumpen** sind. Unter der Annahme, dass die Umstellung dieser Gebäude ab dem Beginn der Förderung durch das BEG Anfang 2022 begonnen hat und die Umstellung Ende 2040 abgeschlossen sein soll, ergeben sich für den zur Verfügung stehenden Zeitraum von 19 Jahren eine Zahl von **974 Wärmepumpen**, die jedes Jahr eingebaut werden müssten. Bei rd. 200 Arbeitstagen pro Jahr wären dies knapp fünf Wärmepumpen pro Arbeitstag.

Für die Ermittlung des Pfades zur Klimaneutralität dieses neuen Zielszenarios (Zielszenario 3) wurde auf die bereits für das Zielszenario „Klimaneutralität bis 2040“ des Energieleitplans (Zielszenario 2) erstellte Datei und die dort zugrunde gelegten Randbedingungen zurückgegriffen:

- Fernwärme-Eignungsgebiete: Anstieg der Fernwärme-Abnahmemenge um 4,3 % pro Jahr.
- Nahwärme-Eignungsgebiete: bis 2030 sind 50 % des Wärmebedarfs der Gebäude an Wärmenetze angeschlossen, bis 2040 sind 90 % an Wärmenetze angeschlossen, der Rest von 10 % ist mit Wärmepumpen ausgestattet.
- Einzelheizungs-Eignungsgebiete: bis 2040 zu 90 % der Gebäude mit Wärmepumpen ausgerüstet
- Verbot von fossilen Energieträgern schon im Jahr 2040 (5 Jahre vor dem im GEG beschriebenen Bundesverbot im Jahr 2045)

Damit ist eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen dem Zielszenario 2 des Energieleitplans und der Neuberechnung des Zielszenarios 3 gegeben.

Bei der Berechnung des Pfades zur Klimaneutralität ändert sich im Vergleich zu dem Zielszenario 2 im Energieleitplan somit nur ein Parameter, nämlich die Geschwindigkeit bei der Gebäudedämmung (jährlich statt 4,8 % im Energieleitplan jetzt 2,0 %).

Die Ergebnisse der Szenariorechnung für den Energiebedarf in MWh/a (Abb. 1.1) und für die CO<sub>2</sub>-Emissionen (Abb. 1.2) sind hier in gleicher Form dargestellt wie im Energieleitplan, für die Stützjahre 2019, 2030 und 2040. Zum Vergleich mit den jeweiligen Ergebnissen aus Zielszenario 2 dienen die Abb. 1.3 bis Abb. 1.6.

Daraus ist zu erkennen, dass in den Zieljahren 2030 und 2040 der Endenergiebedarf aufgrund der langsamer voranschreitenden Wärmedämmung der Gebäude höher liegt als beim Zielszenario 2 des Energieleitplans. Dieser **Mehrbedarf** war zu erwarten und liegt im **Jahr 2040** bei rund **510.000 MWh**, also etwa 20 % höher. Absolut betrachtet ist der Endenergiebedarf in 2040 im Zielszenario 3 2.600.000 MWh. Entsprechend den Annahmen zur Energieträgerumstellung verschwinden die fossilen Energieträger Erdgas und Heizöl bis 2040 und demzufolge sinken auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen stark. Es verbleibt ein „Bodensatz“ von CO<sub>2</sub>-Emissionen, weil die Fernwärme einerseits und der „Strommix Deutschland“ für 2040 für den Wärmepumpenantrieb andererseits (noch) nicht bei Null CO<sub>2</sub> angelangt sein werden. Dieser Bodensatz war bereits auch beim Energieleitplan im Zielszenario 2 erkennbar, ist im Zielszenario 3 etwas größer geworden, und zwar um rund 20.000 t CO<sub>2</sub> auf 96.000 t CO<sub>2</sub>

Um die letzten CO<sub>2</sub>-Emissionen vollständig zu vermeiden, müssten auch die 2040 noch nicht mit Wärmepumpen ausgestatteten Gebäude (10 %) umgestellt werden. Es muss zudem erreicht werden, dass die Fernwärmeversorgung im Jahr 2040 vollständig CO<sub>2</sub>-frei ist und der Strombedarf der

Wärmepumpen in den Einzelheizungsgebieten nicht mit dem „Deutschland-Mix“, sondern mit vollständig CO<sub>2</sub>-freiem Strom gedeckt wird. Da der Strombedarf der Einzelhäuser von den jeweiligen Eigentümern oder Mietern gekauft wird, müssten diese durch geeignete Öffentlichkeitsarbeit motiviert werden, CO<sub>2</sub>-freien Strom für den Betrieb ihrer Wärmepumpen bzw. für den gesamten Strombedarf ihres Gebäudes zu beziehen. Der Bezug von Ökostrom ist jedoch nur ein Teil der notwendigen Maßnahmen für eine erfolgreiche Energiewende. Darüber hinaus können die Rest- CO<sub>2</sub>-Emissionen durch einen Ausbau der Eigenstromerzeugung der Gebäude weiter reduziert werden, indem zusätzliche Dächer der mit Wärmepumpen ausgestatteten Gebäude mit Photovoltaik-Modulen belegt werden. Dadurch kann die erneuerbare Stromerzeugung in Karlsruhe gesteigert werden. Zusätzlich müssen alle Potenziale für Erneuerbare Energien, insbesondere der Ausbau der Photovoltaik auf Dächern und verfügbaren Freiflächen, ausgeschöpft werden.

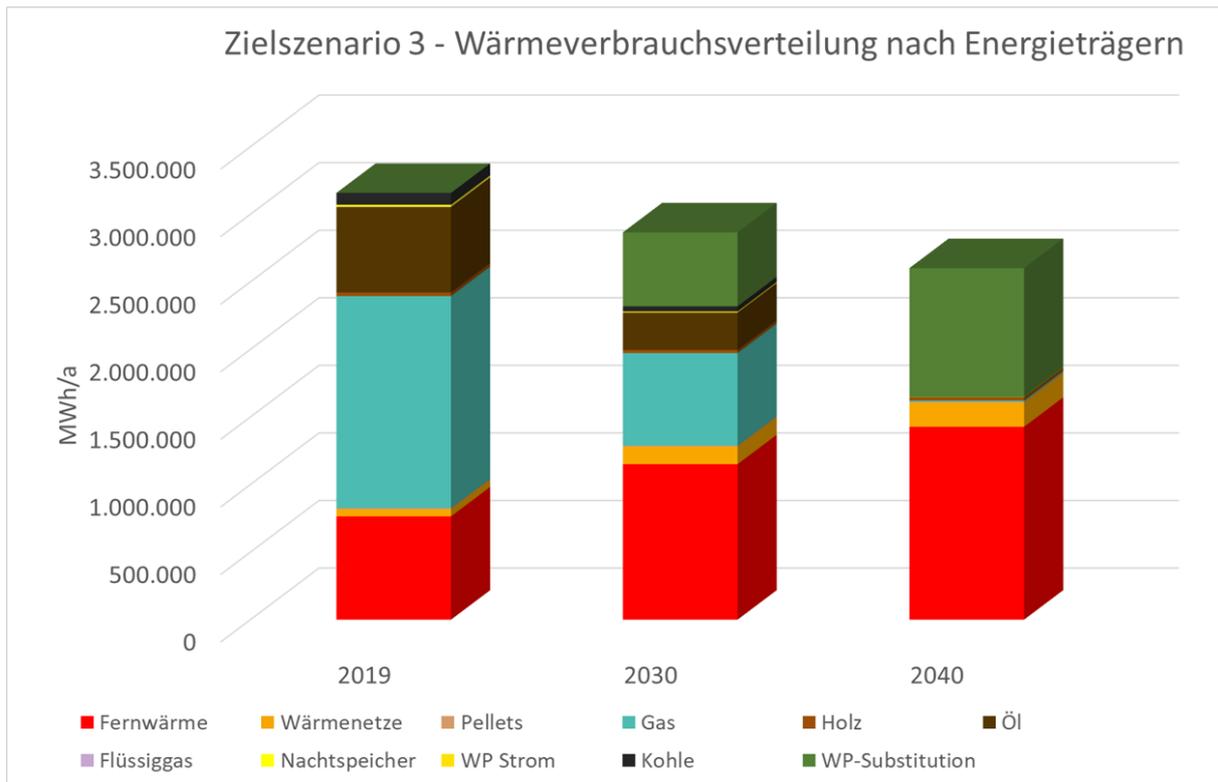


Abb. 1.1: Wärmeverbrauchsverteilung des Zielszenarios 3

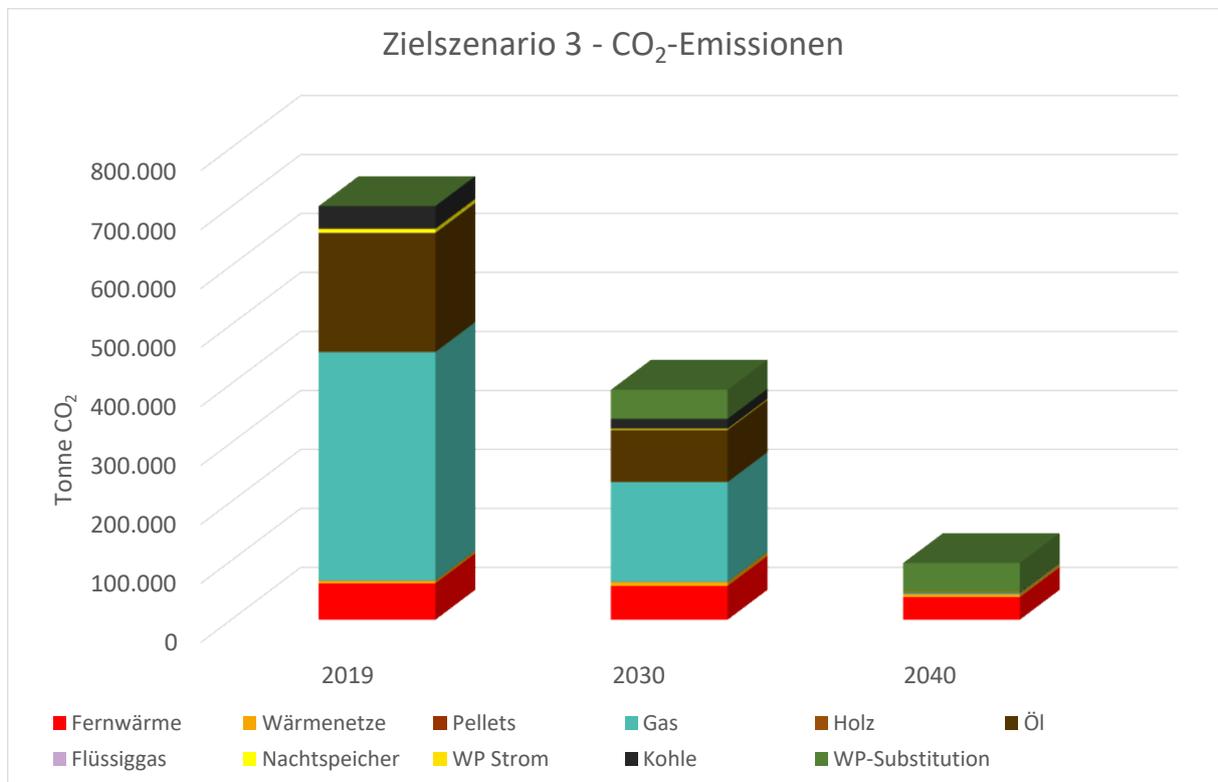


Abb. 1.2: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Zielszenarios 3

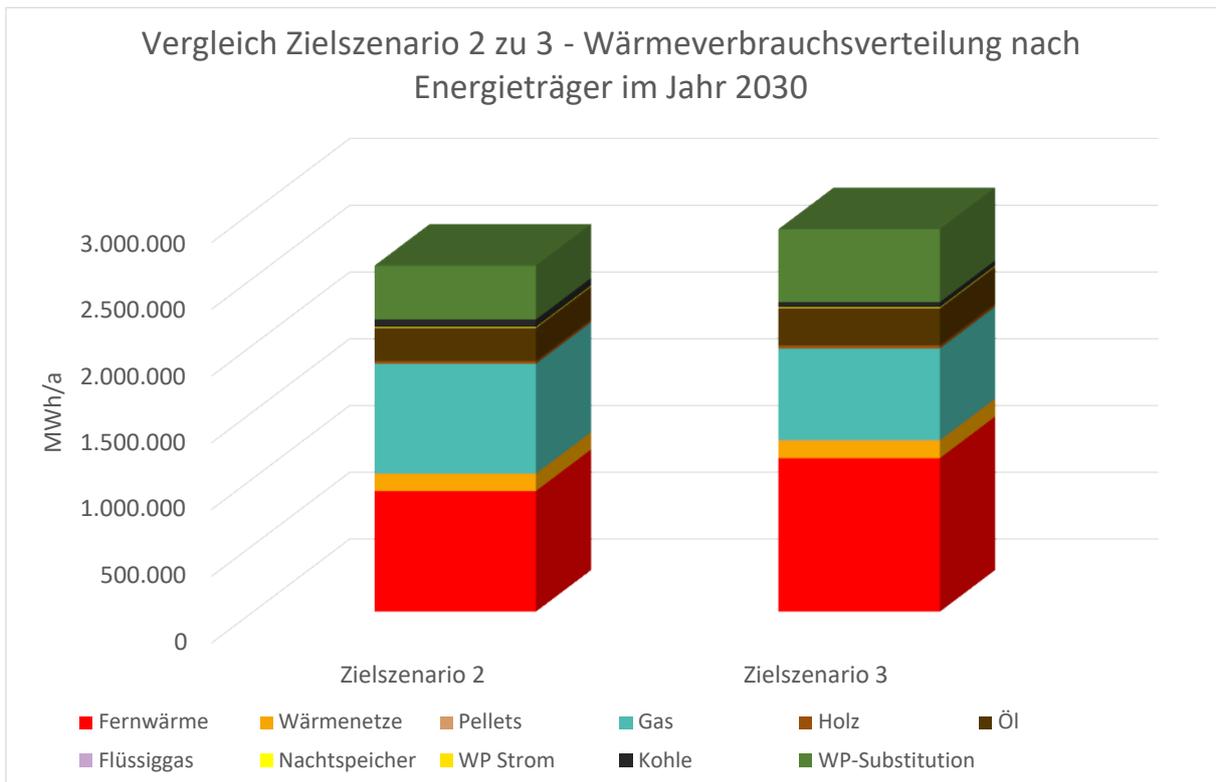


Abb. 1.3: Vergleich der Wärmeverbrauchsverteilung der Zielszenarien 2 und 3 im Jahr 2030

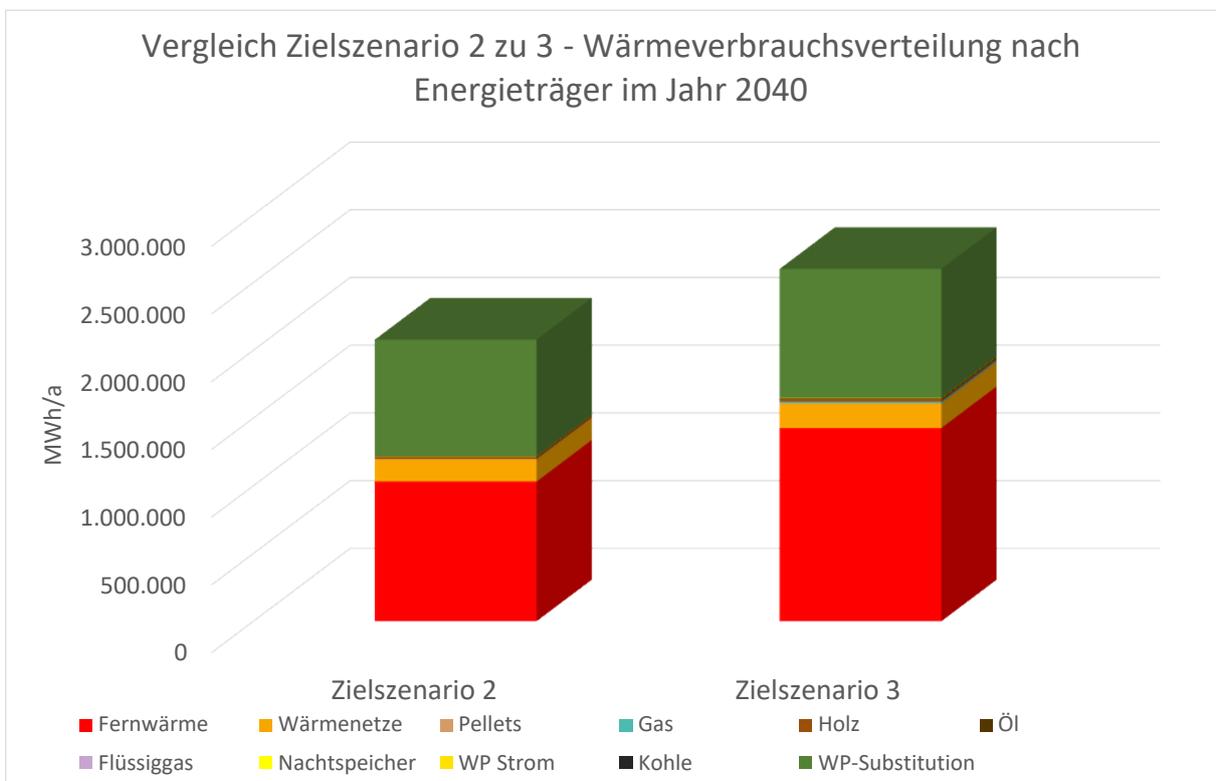


Abb. 1.4: Vergleich der Wärmeverbrauchsverteilung der Zielszenarien 2 und 3 im Jahr 2040

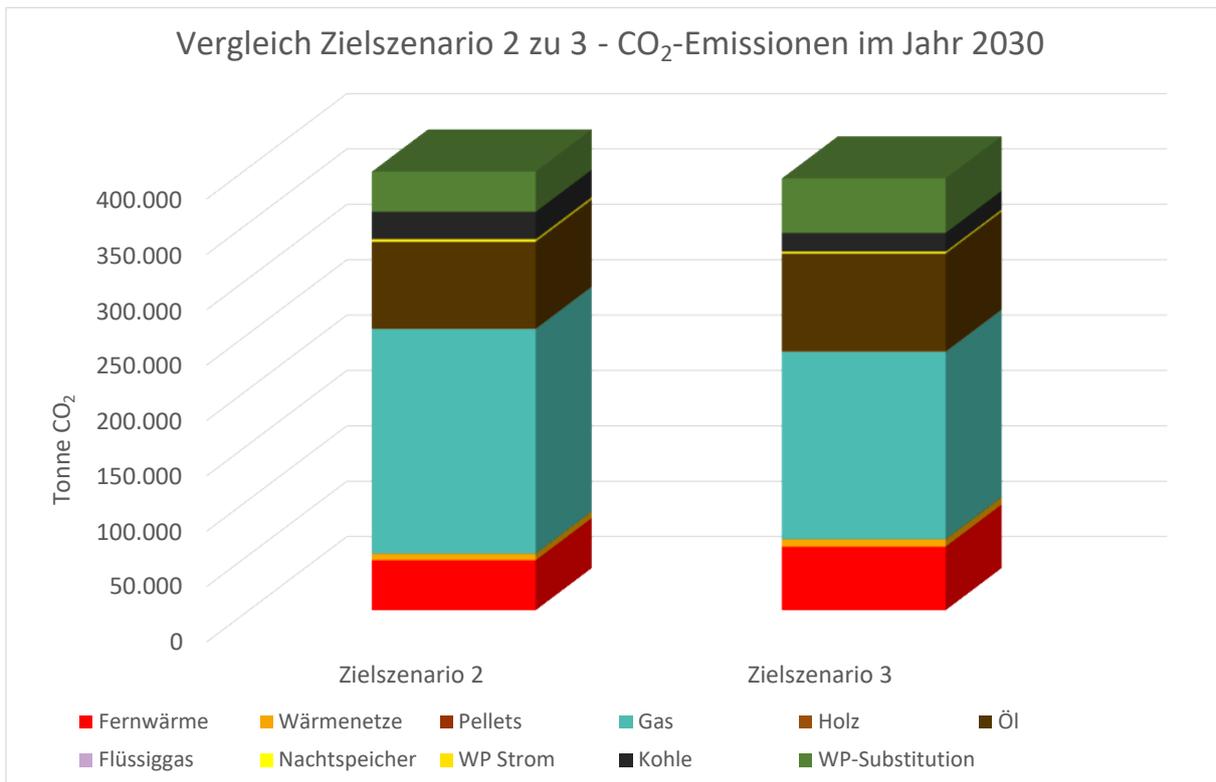


Abb. 1.5: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Zielszenarien 2 und 3 im Jahr 2030

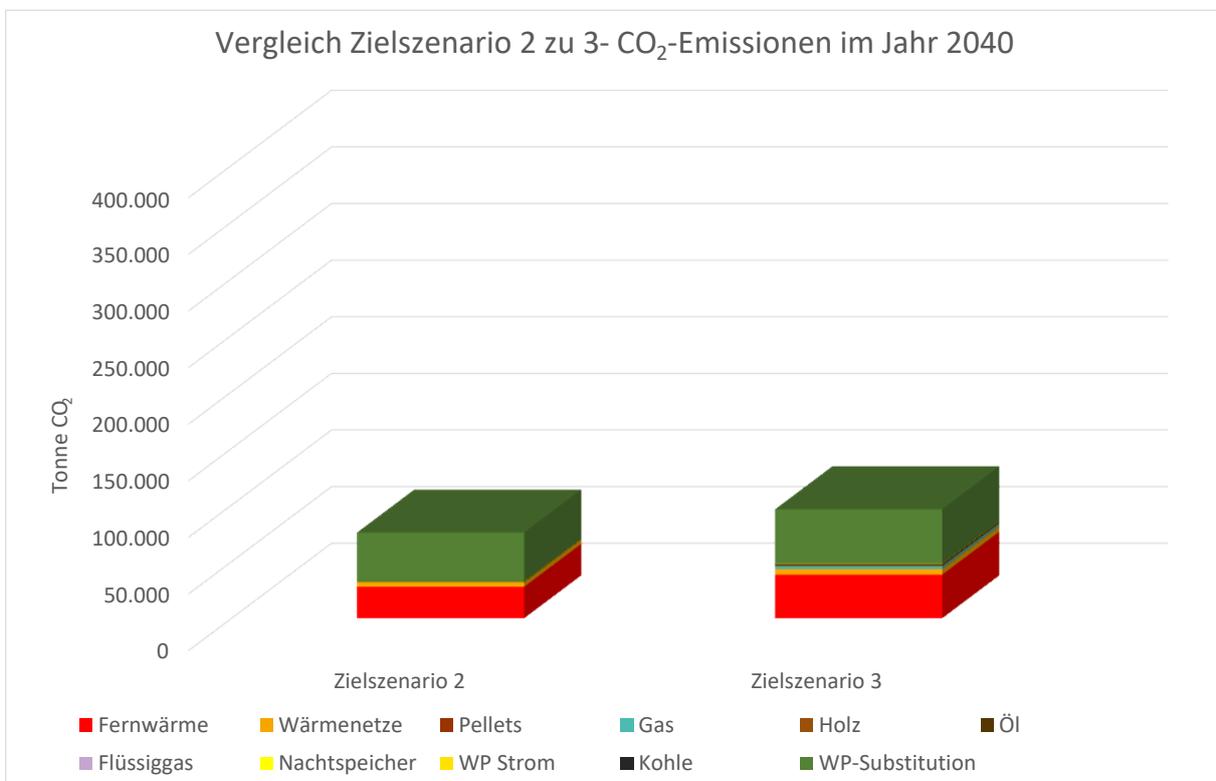


Abb. 1.6: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Zielszenarien 2 und 3 im Jahr 2040

Zur Erläuterung: der gelb dargestellte „WP-Strom“ bezeichnet den Strombedarf für die bereits vorhandenen Wärmepumpen, die grün dargestellte Säule für „WP-Substitution“ steht für den Strom, der für die ab 2021 neu eingebauten Wärmepumpen benötigt wird.

Diese in Abb. 1.6 dargestellten Restemissionen des Jahres 2040 sind in Relation zu bringen zum Ziel der Stadt Karlsruhe, 2040 pro Kopf Restemissionen von 0,5 t CO<sub>2</sub>, d.h. 154.500 t CO<sub>2</sub> bei 309.000 Einwohnern zu erreichen.

Die Restemissionen in den beiden Zielszenarien betragen:

Zielszenario 2:                76.000 t CO<sub>2</sub>                pro Kopf: 0,25 t CO<sub>2</sub>

Zielszenario 3:                96.000 t CO<sub>2</sub>                pro Kopf: 0,31 t CO<sub>2</sub>

**Somit wird das CO<sub>2</sub> - Ziel der Stadt in 2040 bei beiden Zielszenarien erreicht.**

Anmerkung:

Bei der Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Strom („Deutschland-Mix“) wurden im Energieleitplan und auch in den Abb. 1.5 und 1.6 die Werte entsprechend des Technikkataloges der KEA von 2022 verwendet, um die Ergebnisse der Szenarien 2 und 3 vergleichbar zu halten. Im Juni 2024 hat u.a. das BMWK einen Leitfaden Wärmeplanung<sup>2</sup> vorgelegt, der auch einen aktualisierten Technikkatalog mit geänderten und deutlich niedrigeren CO<sub>2</sub>-Faktoren für den Deutschland-Mix enthält. Hier sind die Werte aus den beiden Technikkatalogen im Vergleich:

	Technikkatalog KEA 2022	Technikkatalog BMWK 2024
Jahr	Strom Mix t-CO <sub>2</sub> / MWh	Strom Mix t-CO <sub>2</sub> / MWh
2020	0,459	0,424
2025	0,365	0,260
2030	0,270	0,110
2035	0,210	0,045
2040	0,151	0,025
2045	0,091	0,015

Um die Auswirkungen dieser neuen Vorgaben zu verdeutlichen, wurden die CO<sub>2</sub>-Emissionen noch einmal neu berechnet und gegenübergestellt. Aufgrund der niedrigeren CO<sub>2</sub> – Werte des neuen Katalogs ergeben sich zwangsläufig auch niedrigere Restemissionen für 2040:

CO <sub>2</sub> -Emissionen 2040	KEA 2022	BMWK 2024
	ca. 96.000 t	ca. 56.000 t

<sup>2</sup> Handlungsleitfaden Wärmeplanung des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen vom 22.07.2024; online abrufbar unter <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/wohnen/leitfaden-waermeplanung-lang.pdf>; zuletzt abgerufen 23.07.2024

In Abb. 1.7 ist die Herkunft der Restemissionen für das Jahr 2030 und Abb. 1.8 für das Jahr 2040 für die beiden unterschiedlichen Grundlagen gegenübergestellt.

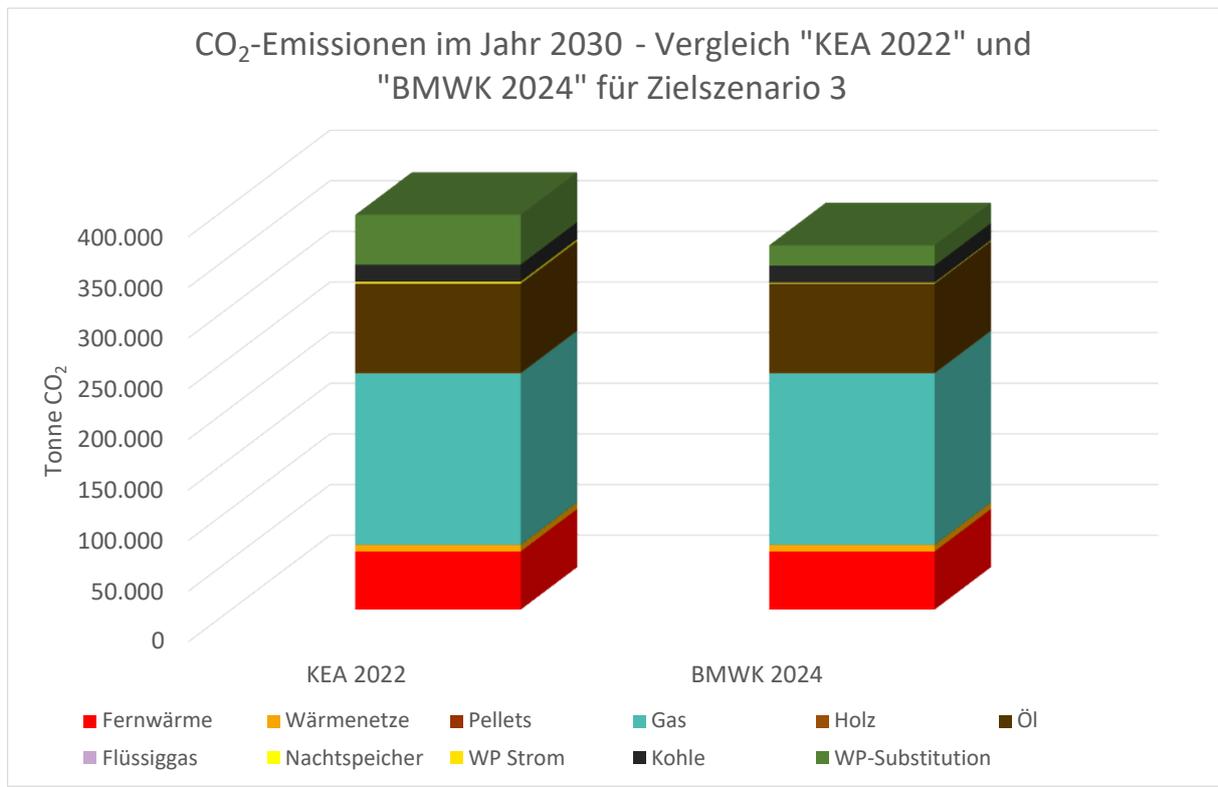


Abb. 1.7: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen für Zielszenario 3 im Jahr 2030 – Vergleich mit CO<sub>2</sub>-Faktoren aus „KEA 2022“ und „BMWK 2024“

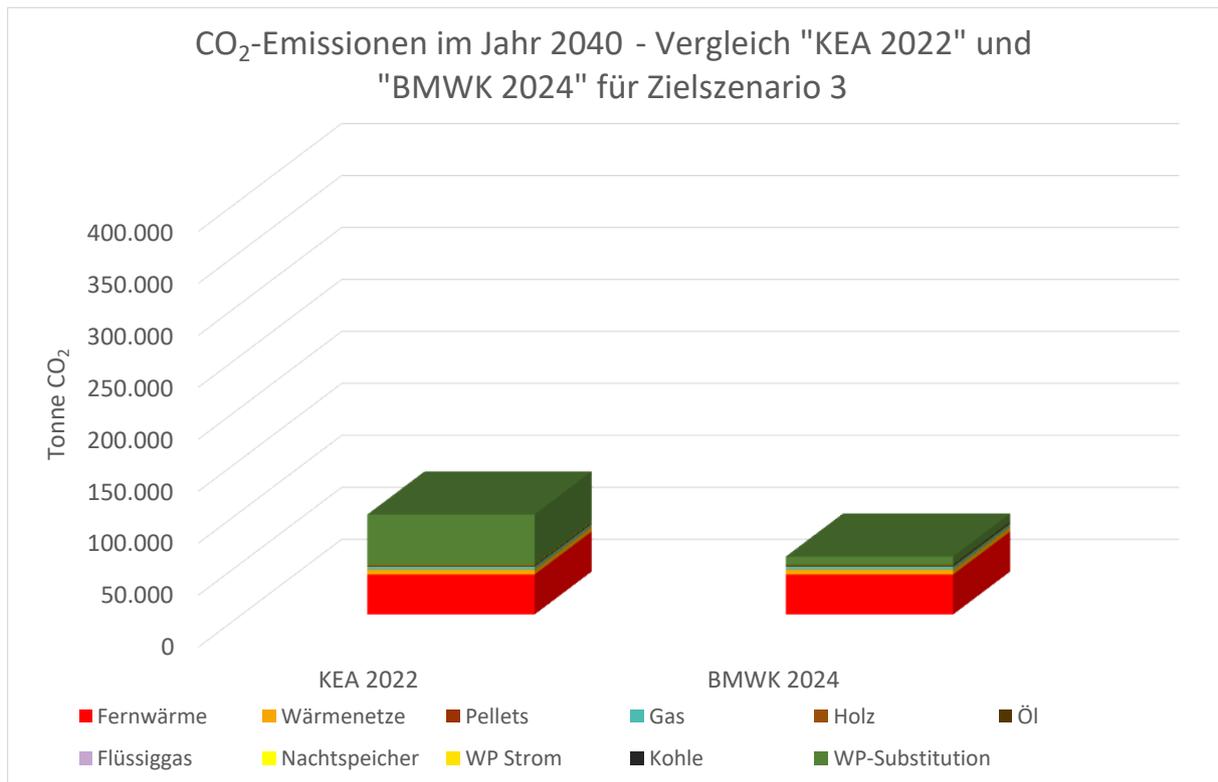


Abb. 1.8: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen für Zielszenario 3 im Jahr 2040 – Vergleich mit CO<sub>2</sub>-Faktoren aus „KEA 2022“ und „BMWK 2024“

## 2 WÄRMEPUMPENLÖSUNGEN

Das Funktionsprinzip der Wärmepumpe lässt sich anhand des untenstehenden Abb. 2.1 anschaulich beschreiben. Mithilfe der elektrischen Antriebsenergie verdichtet und erhitzt der Kompressor der Wärmepumpe das flüssige Kältemittel, das durch die Wärme einer Wärmequelle verdampft. Der Kältemitteldampf gibt seine Wärme in einem Wärmetauscher an das Heizsystem ab und kondensiert.

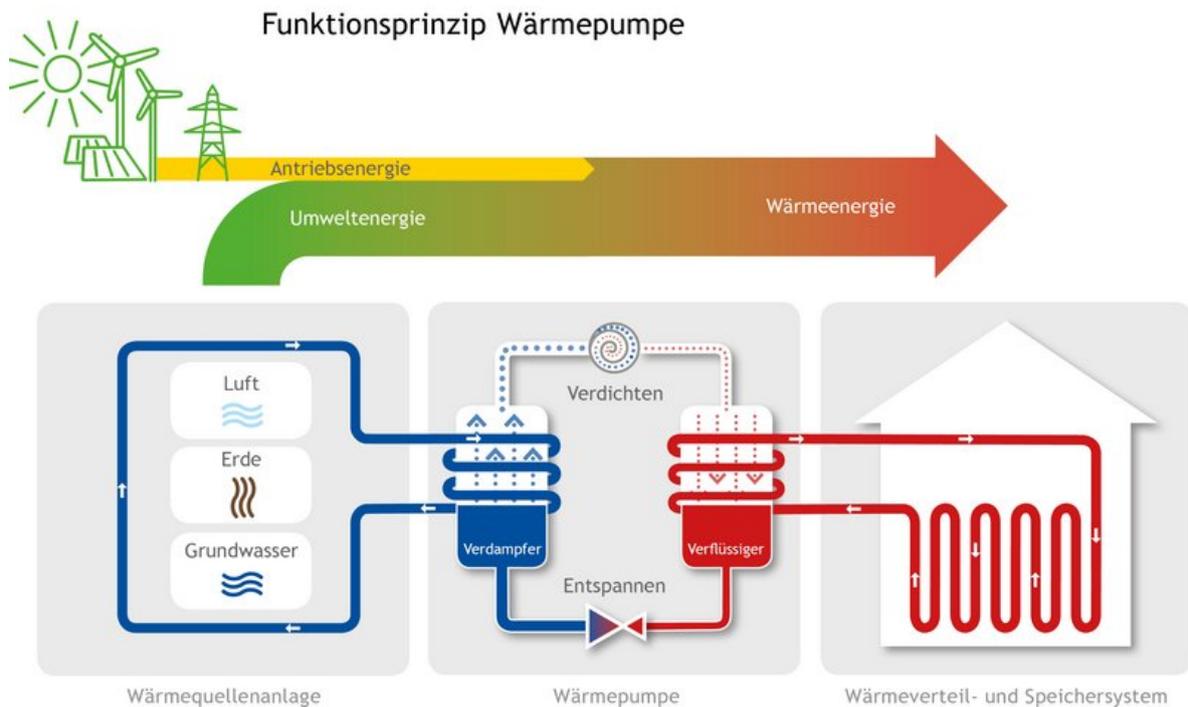


Abb. 2.1: Funktionsprinzip Wärmepumpe<sup>3</sup>

Als Kältemittel sind in der Vergangenheit überwiegend synthetische Kältemittel eingesetzt worden, die Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKWs) enthalten und daher bei einem Entweichen in die Atmosphäre die Ozonschicht schädigen. Daher wurden sie 1987 verboten. Als Ersatz wurden dann hauptsächlich Fluorkohlenwasserstoffe (FKWs) eingesetzt. Diese schädigen zwar nicht die Ozonschicht, haben aber ein starkes Treibhauspotenzial, das sogenannte „Global Warming Potential“ (GWP). Seit 2015 wird in der EU eine schrittweise Beschränkung des GWP umgesetzt und seit 2023 auf eine beschleunigte Reduzierung des Einsatzes der FKWs auf Null im Jahr 2050 hingewirkt. Daraufhin wurden neue synthetische Kältemittel (z.B. R32) entwickelt bzw. der Einsatz von natürlichen Kältemitteln (R290, Propan) vorangetrieben. Ein Überblick über die Höhe des GWP-Wertes von verschiedenen Kältemitteln ist in Abb. 2.2 dargestellt.

<sup>3</sup> Funktionsprinzip Wärmepumpe; online abrufbar unter <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion-waermequellen/>; zuletzt abgerufen am 17.07.2024

Ein weiterer Vorteil von R290 Propan besteht darin, dass es wegen seiner technischen Eigenschaften besonders gut für Bestandsbauten, d.h. für Vorlauftemperaturen bis zu 75 °C, geeignet ist. Aus diesen Gründen nutzen viele neu entwickelte Wärmepumpen R290.

Die folgende Übersicht gibt Aufschluss über die wichtigsten heute verwendeten Kältemittel mit der zugehörigen Sicherheitsgruppe und dem Treibhauspotenzial (GWP).<sup>2</sup>

Kategorie	Kältemittel	Sicherheitsgruppe	GWP
FKW/HFKW	R134a	A1	1.430
FKW/HFKW	R410a	A1	2.090
FKW/HFKW	R407C	A1	1.770
FKW/HFKW	R32	A2L*	675
Natürliche Kältemittel	R290 (Propan)	A3	3
Natürliche Kältemittel	R717 (NH <sub>3</sub> )	B2L*	0
Natürliche Kältemittel	R744 (CO <sub>2</sub> )	A1	1
HFO	R1234yf	A2L*	4

\*Neue Sicherheitsgruppe gemäß SN EN 378-1:2017

**Legende Sicherheitsgruppe:**

- A = Geringe Giftigkeit
- B = Größere Giftigkeit
- 1 = Keine Flammenausbreitung
- 2 = Geringe Brennbarkeit
- 3 = Größere Brennbarkeit
- L = Geringe Brenngeschwindigkeit

Abb. 2.2: Daten von Kältemitteln<sup>4</sup>

Die **Effizienz einer Wärmepumpe** wird entweder mit dem COP-Wert („Coefficient of Performance“) oder der Jahresarbeitszahl (JAZ) beschrieben. Beide Werte geben an, wie viel Wärmeleistung die Wärmepumpe aus einer bestimmten Menge eingesetzter Energie (Strom) erzeugt. Je höher der COP bzw. die JAZ, desto besser ist die Effizienz der Wärmepumpe. Der COP beschreibt die erzeugte Wärme pro eingesetztem Strom für einen klar definierten Betriebspunkt der Wärmepumpe, während die JAZ ein gemessener Wert über ein ganzes Jahr ist.

COP und JAZ sind umso höher bzw. besser, je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmeverbraucher ist. Damit wird klar, dass bei der Planung der Wärmepumpe die Temperaturen der Wärmequelle und des Heizungssystems eine große Rolle spielen.

<sup>4</sup> Kältemittel für Wärmepumpen im Detail; online abrufbar unter <https://www.dein-heizungsbauer.de/ratgeber/bauen-sanieren/kaeltemittel-waermepumpe/>; zuletzt abgerufen am 17.07.2024

Für die Inanspruchnahme der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) ist die Effizienz der vorgesehenen Wärmepumpe nachzuweisen. Zu diesem Zweck hat das BAFA eine Vielzahl von Wärmepumpen nach der Ökodesign-Richtlinie untersucht und die „jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz  $\eta_s$  (ETAs)“ sowie das verwendete Kältemittel für diese Wärmepumpen veröffentlicht. Diese Wärmepumpen erfüllen die Effizienzanforderungen und erhalten Fördergelder. Die Liste des BAFA kann im Internet unter [BAFA - Energie - Liste der förderfähigen Wärmepumpen mit Prüf-/Effizienznachweis \(Stand: 01.07.2024\)](#) heruntergeladen werden (Stand 17.07.2024).

## 2.1 WÄRMEPUMPEN-TYPEN

Die am Markt verfügbaren Wärmepumpen lassen sich in erster Linie anhand ihrer erneuerbaren Wärmequelle unterscheiden:

- **Luftwärmepumpe**

Die Luftwärmepumpe nutzt **Außenluft** als Wärmequelle und hat sich im Einfamilienhaus als Standardlösung etabliert. Üblicherweise wird die gesamte Wärmepumpe als eine Einheit („Monoblockbauweise“) außerhalb des Gebäudes aufgestellt.

- **Erdwärmesonden**

Eine andere Wärmequelle für Wärmepumpen ist die oberflächennahe Erdwärme, die über **Erdwärmesonden** erschlossen wird. Dabei wird ein Kunststoffrohr senkrecht ins Erdreich eingebracht. Üblich sind sogenannte U-Sonden, bei denen ein oder zwei Rohrpaare über eine Bohrung tief ins Erdreich eingebracht werden. In der Sonde zirkuliert eine Wärmeträgerflüssigkeit (Wasser mit Frostschutz oder reines Wasser in Wasserschutzgebieten), die sich im Erdreich erwärmt (je nach Tiefe der Bohrung auf ca. 10 °C oder mehr) und die Wärme an die Wärmepumpe abgibt. Diese Art der Erdwärmennutzung ist in Karlsruhe möglich und bereits an zahlreichen Stellen realisiert (siehe Abb. 3-6 im Energieleitplan).

Die Wärmepumpe kann im Inneren des Gebäudes aufgestellt werden, was einen Vorteil in Hinblick auf die Schallemission darstellt.

- **Wasser-Wasser-Wärmepumpen**

Alternativ hierzu sind sogenannte **Grundwasser-Wärmepumpen** möglich, bei denen über Brunnen Grundwasser an die Oberfläche gepumpt wird, dort in einem Wärmetauscher Wärme abgibt und abgekühlt wieder in einem zweiten Brunnen zurückgeführt wird. Auch diese Art der Wärmenutzung ist in Karlsruhe bereits im Einsatz und in Abb. 3-6 des Energieleitplans dargestellt.

Sowohl für Erdsonden als auch für Grundwasser-Wärmepumpen sind für den Bau und Betrieb wasserrechtliche Erlaubnisse erforderlich. Die Antragsstellung muss rechtzeitig vor Baubeginn erfolgen. Geplante Bohrungen sind bei der unteren Wasserbehörde beim Zentralen Juristischen Dienst (ZJD) der Stadt Karlsruhe anzuzeigen und genehmigen zu lassen. Durch diese Prüfung wird z.B. auch sichergestellt, dass die Sonden in verschiedenen Grundstücken weit genug auseinander angeordnet werden, damit eine Sonde nicht in der „Kältefahne“ einer anderen Sonde liegt und so die Effizienz eingeschränkt wird.

Die Bohrungen (Sonden) werden üblicherweise außerhalb von Gebäuden in den Freiflächen der Grundstücke erstellt, sodass eine solche Wärmeerzeugung in der Regel nur auf entsprechend großen Grundstücken und bei Neubauten bzw. größeren Sanierungen realisiert wird. Bei einem Neubau ist es ebenfalls möglich, die Bohrungen unter das Fundament zu bringen. Je nach Wärmebedarf des Gebäudes ist die Anzahl und Tiefe der Bohrungen zu planen. Überschlägig kann von 50 W/m Bohrung ausgegangen werden, sodass z.B. für ein Gebäude mit einem Wärmebedarf von 8 kW (gut gedämmtes Einfamilienhaus) und einer modernen Wärmepumpe eine Wärmeentzugsleistung von rd. 6,4 kW benötigt wird. Hierfür wären dann 128 Bohrmeter erforderlich. Dies könnte z.B. durch eine Bohrung mit 128 m oder durch vier Bohrungen mit je 32 m Tiefe erreicht werden. In jedem Fall ist eine sorgfältige Planung der Bohrmaßnahme durch fachkundige Geologen und Ingenieure erforderlich. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die maximalen Tiefen der Bohrungen in einzelnen Stadtteilen unterschiedlich festgelegt sind (siehe Abb. 2.4). Hinweise dazu gibt auch die Website [isong.lgrb-bw.de](https://www.isong.lgrb-bw.de).

Auch diese Wärmepumpen können im Gebäude aufgestellt werden.

## 2.2 TECHNISCHE RESTRIKTIONEN UND IHRE LÖSUNG

**Alle in diesem Abschnitt beschriebenen Maßnahmen**, auch am Gebäudeheizungssystem, auch für Mehrfamilienhäuser mit Eigentumswohnungen, werden durch die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) nach dem derzeitigen Stand mit bis zu 70 % gefördert,

### 2.2.1 SCHALLEMISSIONEN

Die Standardlösung im Einzelhausbereich ist die **Luft-Wärmepumpe**, die im Freien außerhalb des Gebäudes aufgestellt wird. Insbesondere in Gebieten mit relativ dichter Bebauung, z.B. bei Reihenhausbebauung, gibt es Einschränkungen für den Einbau von Luft-Wärmepumpen.

Die von Luft-Wärmepumpen ausgehenden Geräusche können insbesondere nachts zu Beschwerden führen. Die Geräusche werden nach der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) bewertet. Diese gibt Immissionsrichtwerte jeweils für tags und nachts vor, die nach Möglichkeit nicht überschritten werden sollten.

Diese Richtwerte basieren im Wesentlichen auf den für reine Wohngebiete maximal zulässigen Schallimmissionen von 50 dB(A) am Tag und 35 dB(A) in der Nacht.

Die Lärmimmission wird am Immissionsort beurteilt, der 0,5 Meter vor dem Fenster eines vom Geräusch am stärksten betroffenen Wohn-, Schlaf-, Arbeits-, Kinderzimmers oder einer Küche mit Essplatz liegt.<sup>5</sup>

Dies bedeutet, dass bei Überschreitung dieser Werte die Wärmepumpe entweder an einem anderen Ort aufgestellt oder mit entsprechenden Schallschutzmaßnahmen versehen werden muss. Diese

---

<sup>5</sup> Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI): „Leitfaden für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm bei stationären Geräten in Gebieten, die dem Wohnen dienen“, 2023; online unter [https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/leitfaden-laerm-bei-stationaeren-geraeten-kurzfassung\\_1698053205.pdf](https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/leitfaden-laerm-bei-stationaeren-geraeten-kurzfassung_1698053205.pdf); zuletzt abgerufen am 01.08.2024.

Aspekte sind bereits bei der Planung zu beachten, um Konflikte und Beeinträchtigungen von Nachbarn zu vermeiden.

Betreibende sollten sich, gemäß Punkt 3.2.1 „Prüfung im Regelfall“ der **sechsten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm)** vom Errichter der Anlage den schriftlichen Nachweis erbringen lassen, dass die Richtwerte der TA-Lärm um mindestens 6 dB(A) unterschritten werden. In diesem Fall ist bei einer Überschreitung der Immissionsrichtwerte durch mehrere Lärmquellen der Beitrag der eigenen Anlage zu einer Gesamtmission in der Regel als nicht relevant anzusehen. So kann das Risiko nachträglicher Änderungen zur Verbesserung des Schallschutzes sehr stark reduziert werden.“

Übersichtliche Hinweise zu diesem Thema sind in der Broschüre „Lärmschutz bei Luft-Wärmepumpen“ der LUBW zusammengefasst.

Beauftragen die Hausbesitzenden vorab einen Energieberater, können diese Leistungen über die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) gefördert werden. Dieser Energieberater wird zur Planung der Wärmepumpe wichtige Hinweise geben, auch zur Reduzierung der Schallemissionen:

- Auswahl der richtigen Wärmepumpe, evtl. moderne Modelle, die mit einem besonderen Schallschutz ausgestattet sind
- Aufstellort der Wärmepumpe ändern, d.h. Abstände zu Gebäuden oder anderen Hindernissen, die Schall reflektieren können, vergrößern
- Aufstellung und Ausrichtung der Ein- und Ausblasöffnung
- Besondere Maßnahmen zur Reduzierung der Schallabstrahlung, wie z.B. entkoppelte Fundamente und Anschlussleitungen, Aufstellpodeste mit Dämmung, Schallschutzhauben (Beispiel in Abb. 2.3), Schalldämmung an nahegelegenen Wänden oder Mauern zur Reduzierung von Schallreflexion, Aufstellung der Wärmepumpe auf Schwingungsdämpfern



Abb. 2.3: Schallgedämmte Wärmepumpe<sup>6</sup>

Somit kann man davon ausgehen, dass die Aufstellung einer Luft-Wärmepumpe mit den entsprechenden Maßnahmen auch in eng bebauten Bestandsgebieten technisch realisierbar ist.

### 2.2.2 HOHE HEIZUNGS-VORLAUFTEMPERATUR

Wie bereits erwähnt, sind Wärmepumpenheizungen umso effizienter, je niedriger die Vorlauftemperatur des Heizungssystems ist. Daher werden Neubauten bevorzugt mit Fußbodenheizungen ausgestattet, die maximale Vorlauftemperaturen zwischen lediglich 25 und 35 °C benötigen. In Bestandsgebäuden wird man nachträglich Fußbodenheizungen nur bei einer grundlegenden Sanierung einbauen, beispielsweise bei einem Leerstand nach dem Verkauf des Gebäudes.

In Bestandsgebäuden kann die Vorlauftemperatur durch eine Vergrößerung der Heizungsflächen gesenkt werden, bzw. eine Vergrößerung der Heizkörper. Innerhalb bestimmter Grenzen kann dies vergleichsweise einfach durchgeführt werden, indem z.B. sogenannte Reparaturheizkörper eingesetzt werden, die auf die Abstände von Vorlauf- und Rücklaufleitung der bestehenden Heizkörper ausgerichtet sind. Somit können diese größeren Heizkörper mit relativ geringem baulichem Aufwand ohne Neuverlegung von Heizleitungen angeschlossen werden. Es empfiehlt sich, hierfür einen qualifizierten Energieberater einzuschalten, da häufig nicht alle Heizkörper gleich groß dimensioniert sind und daher auch nicht alle Heizkörper vergrößert werden müssen. Häufig kann dadurch die Vorlauftemperatur im Gebäude auf maximale Werte zwischen 45 und 60 °C reduziert werden.

---

<sup>6</sup> „Wie sich der Lärm einer Luftwärmepumpe dämmen lässt“ von Hausjournal.net; online abrufbar unter <https://www.hausjournal.net/luftwaermepumpe-laerm-daemmen/>; abgerufen am 31.05.2024

### 2.2.3 GEBÄUDE MIT GAS-ETAGENHEIZUNG ODER NACHTSPEICHERHEIZUNGEN<sup>7</sup>

Bei Gebäuden mit **Gas-Etagenheizungen oder Nachtspeicherheizungen** besteht das Problem, dass keine zentrale Heizungsanlage vorhanden ist, die durch eine Wärmepumpe ersetzt werden kann. Wenn man die Gas-Etagenheizung beibehalten will und dennoch auf einen erneuerbaren Energieträger umstellen will, kommen nur Biogas oder grüner Wasserstoff in Frage. Diese Energieträger sind entweder deutlich teurer (Biogas) oder eine ausreichende Verfügbarkeit noch nicht absehbar (grüner Wasserstoff).

Daneben besteht die Möglichkeit, eine zentrale Heizungsanlage mit Wärmepumpe neu zu errichten (Platzbedarf zu berücksichtigen) und von dort Leitungen in die einzelnen Etagen zu verlegen. Auch für die Anordnung der senkrecht verlaufenden Leitungen („Steigleitungen“) muss innerhalb des Hauses Platz gefunden werden. Vorteilhaft ist es, wenn dafür die dann nicht mehr benötigten Kaminschächte der früheren Gasheizung zur Verfügung stehen. Diese Lösung ist relativ aufwendig, was Kosten und Umbaumaßnahmen anbelangt.

Unter bestimmten Bedingungen (ausreichend viele und große Balkone) kann auf den Einbau einer neuen zentralen Heizungsanlage verzichtet werden, indem eine Wärmepumpe pro Etage oder sogar pro Wohnung errichtet wird. Vorteilhaft ist es in diesem Fall, wenn die Wärmepumpen jeweils auf Balkonen angeordnet werden können, da der Anbau an der Außenwand weitere Nachteile hat (Optik, Zugänglichkeit). Je nach Größe der Wohnungen/Etagen könnte man auch Luft-Luft-Wärmepumpen einsetzen, ähnlich den gebräuchlichen Klimageräten. Alle diese Lösungen haben den Nachteil, dass eine größere Anzahl von Wärmepumpen mit entsprechenden Mehrkosten anfallen und auch die Frage der Warmwasserbereitung zu klären ist. In der Regel wird man elektrische Durchlauferhitzer in der Nähe der Zapfstellen einbauen.

Alle hier beschriebenen Maßnahmen führen dazu, dass bestehende fossile Heizungsanlagen trotz ungünstiger Randbedingungen auf erneuerbare Energien umgestellt werden können. Wegen dieser ungünstigen Randbedingungen treten höhere Kosten auf, die jedoch durch entsprechend höhere Förderung nach BEW teilweise kompensiert werden können.

Trotz der beschriebenen Lösungen, die in vielen Fällen möglich sind, muss darauf hingewiesen werden, dass nicht für alle Gebäude eine ideale Lösung für eine Umstellung auf Wärmepumpen zu finden ist.

---

<sup>7</sup> Praxisleitfaden für Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern von dena.de, online abrufbar unter: [Praxisleitfaden für Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern. Status Quo. Erfahrungen. \(dena.de\)](#); abgerufen am 08.08.2024

## 2.3 MINI-WÄRMENETZE

Für den Fall, dass der Einbau einer eigenen Wärmepumpe technisch zu aufwendig ist, oder der Platz im Wohngebiet für einzelne Wärmepumpen an Gebäuden nicht gegeben ist, besteht auch die Möglichkeit, mehrere Gebäude an **eine** gemeinsame Wärmepumpe anzuschließen. Diese kann dann in einem Gebäude mit Platzressourcen oder sogar in einem eigenen Gebäude untergebracht werden. Hierfür können auch Luft-Wärmepumpen eingesetzt werden, da diese inzwischen mit Leistungen bis ca. 200 kW Wärmeleistung angeboten werden. Schallschutzmaßnahmen sind bei solchen größeren Anlagen auch dadurch machbar, dass die Kaltluft nicht waagrecht, sondern senkrecht nach oben ausgeblasen wird. Eine gute Gelegenheit für die Realisierung eines Mini-Wärmenetzes ist das Vorhandensein einer anderen erneuerbaren Energiequelle als Luft, z.B. Wärme aus Geothermie, einem nahegelegenen Gewässer, Abwasser oder Abwärme. Diese Wärmequellen ermöglichen bessere Jahresarbeitszahlen und damit einen geringeren Strombedarf pro Kilowattstunde erzeugter Wärme. Wichtig ist dabei die verfügbare Leistung der Wärmequelle in Relation zur benötigten Heizleistung.

Eine erste Voraussetzung für das Zustandekommen eines solchen Mininetzes ist, dass sich die Eigentümer der nah beieinanderstehenden Gebäude auf ein gemeinsames Vorgehen und ein passendes technisches und wirtschaftliches Konzept verständigen. Dazu gehören der Standort der gemeinsamen Wärmeerzeugungsanlage, die Lage der Wärmeverteilungen zu den einzelnen Gebäuden, eine Aufteilung der Investitionen, die Festlegung der Verantwortlichkeit für den Betrieb und ein Abrechnungsmodus. Bei einer geringen Zahl von angeschlossenen Gebäuden ist eine gemeinsame Zuständigkeit der Gebäudeeigentümer denkbar, d.h. zwei oder drei Nachbarn verständigen sich über ein gemeinsames Konzept. Je mehr Parteien zusammenkommen sollen, desto komplexer wird das System, sodass man auf externe Dienstleister zurückgreifen wird. Diese Dienstleister können für Teile der gemeinsamen Wärmeversorgung beauftragt werden, z.B. eine Heizungsfirma für Betrieb, Wartung und Instandhaltung und eine andere Firma für die kaufmännische Verwaltung und Kostenverteilung. Bei größeren Anlagen kann man einen externen Investor und Betreiber suchen, der die gesamte Wärmelieferung inklusive Investition übernimmt. Es gibt hierfür eine Reihe von kompetenten Anbietern, z.B. die Stadtwerke Karlsruhe, andere Stadtwerke in der Nähe (z.B. Stadtwerke Ettlingen), die BürgerEnergie Karlsruhe eG ([www.ben-karlsruhe.de](http://www.ben-karlsruhe.de)) oder professionelle Contracting-Anbieter. Die Karlsruher Energie- und Klimaschutzagentur ([www.kek-karlsruhe.de](http://www.kek-karlsruhe.de)) bietet hierzu eine Initialberatung an.

Eine andere Lösung könnte darin bestehen, dass sich Gebäudeeigentümer an ein nahegelegenes Wärmenetz einer Wohnungsbaugesellschaft anschließen, sofern es sich um angrenzende Grundstücke handelt bzw. eine Leitungsführung der Privatleitungen im Einklang mit den öffentlichen Leitungsträgern erfolgt. Einen solchen Fall gibt es in Karlsruhe derzeit noch nicht.

Wegen dieser Komplexität wird man die Lösung Mini-Wärmenetz nur dann verfolgen, wenn keine andere Lösung - wie der Anschluss an ein größeres Wärmenetz oder Einzelheizungsversorgung - möglich ist. Eine vorherige oder gleichzeitige Sanierung der einzelnen Gebäude ist wünschenswert, aber keine Voraussetzung für die Realisierung eines Mini-Nahwärmenetzes.

Es soll noch darauf hingewiesen werden, dass durch einen solchen Zusammenschluss mehrerer Gebäude die Anzahl von einzubauenden Wärmepumpen deutlich reduziert und die Transformation zur Nutzung erneuerbarer Energien beschleunigt werden kann.

Ein Mini-Wärmenetz kann bereits für zwei Abnehmer sinnvoll sein, bei zahlreichen Abnehmern ist dann die Schwelle zum Nahwärmenetz erreicht. Eine exakte Unterscheidung für diese Bezeichnungen ist nicht definiert.

Auch diese Maßnahmen – in den Gebäuden und außerhalb – werden nach dem derzeitigen Stand durch das BEG mit bis zu 70 % gefördert.

## 2.4 KONKRETISIERUNG POTENZIELLER ERNEUERBARER WÄRMEQUELLEN FÜR WÄRMEPUMPEN IM EIGNUNGSGEBIET EINZELHEIZUNG

Im Gegensatz zur Außenluft, die überall und kostenlos als erneuerbare Energiequelle genutzt werden kann, sind bei der Nutzung anderer erneuerbarer Wärmequellen, wie z.B. Geothermie, Wasser oder Abwärme jeweils spezifische Randbedingungen zu beachten.

Für die Nutzung von natürlichen Gewässern, von Abwasser oder von industrieller Abwärme ist insbesondere jeweils die Lage dieser Wärmequellen zum Wärmeverbraucher wichtig.

Die Nutzung größerer Abwasserkanäle als Wärmequelle wurde bereits im Energieleitplan beschrieben, die für die Einzelheizungsgebiete infrage kommenden Kanäle sind in Abb. 2.5 für die Einzelheizungsgebiete (blau unterlegt) dargestellt. Für die Nutzung von Geothermie gibt es in Karlsruhe unterschiedliche Vorschriften, die in Abb. 2.4 dargestellt sind. Die genaue Lage der jeweiligen Nutzungseinschränkungen sind im ISONG (Informationssystem für oberflächennahe Geothermie des Landes BW ([isong.lgrb-bw.de/](http://isong.lgrb-bw.de/))) öffentlich einsehbar. Die jeweiligen Einschränkungen sind zahlenmäßig bereits im Energieleitplan auf Seite 60 zusammengestellt worden.

In Karlsruhe gibt es relativ wenige Möglichkeiten die Wärme aus Flüssen oder Bächen zu nutzen, weil die einzigen Fließgewässer Pfingst und Alb verhältnismäßig kleine Gewässer mit entsprechend niedriger Wasserführung im Sommer sind (siehe Abb. 2.5). Evtl. könnte auch eine Wärmenutzung an den Staustufen der kleinen Wasserkraftwerke denkbar sein. Die Stadtwerke Karlsruhe prüfen bereits die Nutzung des Rheins zur Wärmeerzeugung mittels einer Großwärmepumpe.

Ebenso wäre die Nutzung von Wärme aus Seen möglich, Karlsruhe hat auch hier jedoch relativ wenige Optionen. Die wenigen Seen, die es im Stadtgebiet gibt, liegen überwiegend abseits von möglichen Wärmenutzern und/oder unterliegen weitgehend dem Naturschutz. Denkbar wäre allenfalls eine Wärmenutzung aus den Baggerseen in Neureut (evtl. auch erst nach Ende der Kiesproduktion der Fa. Schempp) oder in Grötzingen. Der Stadtteil Grötzingen wurde bereits im Energieleitplan als möglicher Wärmeabnehmer für See-Wärme erwähnt, siehe Abb. 2.5.

Unabhängig von der direkten Nutzung von Flusswasser- oder Seewasserwärme, sind auch Grundwasserbohrungen in der Nähe von Gewässern sinnvoll. Dort eine Grundwasser-Wärmepumpe zu installieren kann sich anbieten, da bereits in geringerer Tiefe Grundwasser zu finden ist.

Seit einigen Jahren werden auch „Kalte Fernwärmenetze“ gebaut. Diese sind dadurch gekennzeichnet, dass ein Fernwärmenetz mit niedriger Vorlauftemperatur (ca. 10 °C bis 20 °C) zu den Gebäuden verlegt wird. Jedes Gebäude hat dann eine eigene Wärmepumpe, die diesem Netz die Wärme entzieht, die das Gebäude benötigt. Diese Wärmepumpen weisen wegen der relativ hohen Temperatur der Wärmequelle eine sehr gute Effizienz auf. Die kalten Wärmenetze können von unterschiedlichen erneuerbaren Wärmequellen gespeist werden, z.B. Erdwärme, Fluss-/Seewasser, Abwasser oder industrieller Abwärme mit entsprechend dazu passender Temperatur. Allerdings stehen diese kalten Fernwärmenetze von ihrer Wirtschaftlichkeit her betrachtet in Konkurrenz zu Luft-Wärmepumpen, sodass sie üblicherweise nur an bevorzugten Stellen mit besonders attraktiven erneuerbaren Wärmequellen, hauptsächlich in Neubaugebieten, geplant werden. In **Anhang 2** sind Beispiele und Links für solche „Kalten Nahwärmenetze“ aufgeführt, die sich in Planung bzw. im Bau befinden.

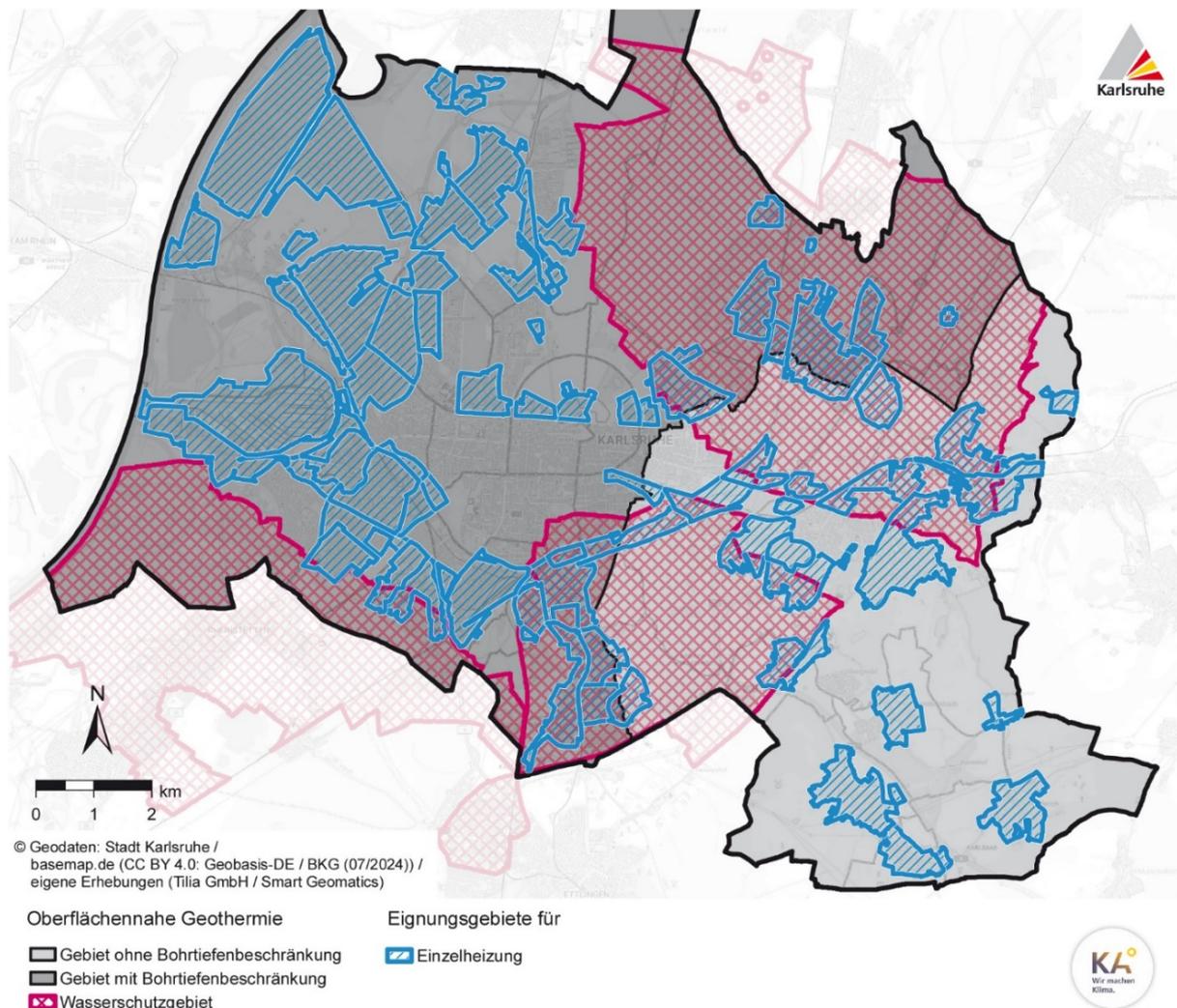


Abb. 2.4: Bohrtiefenbegrenzung in Einzelheizungsgebieten

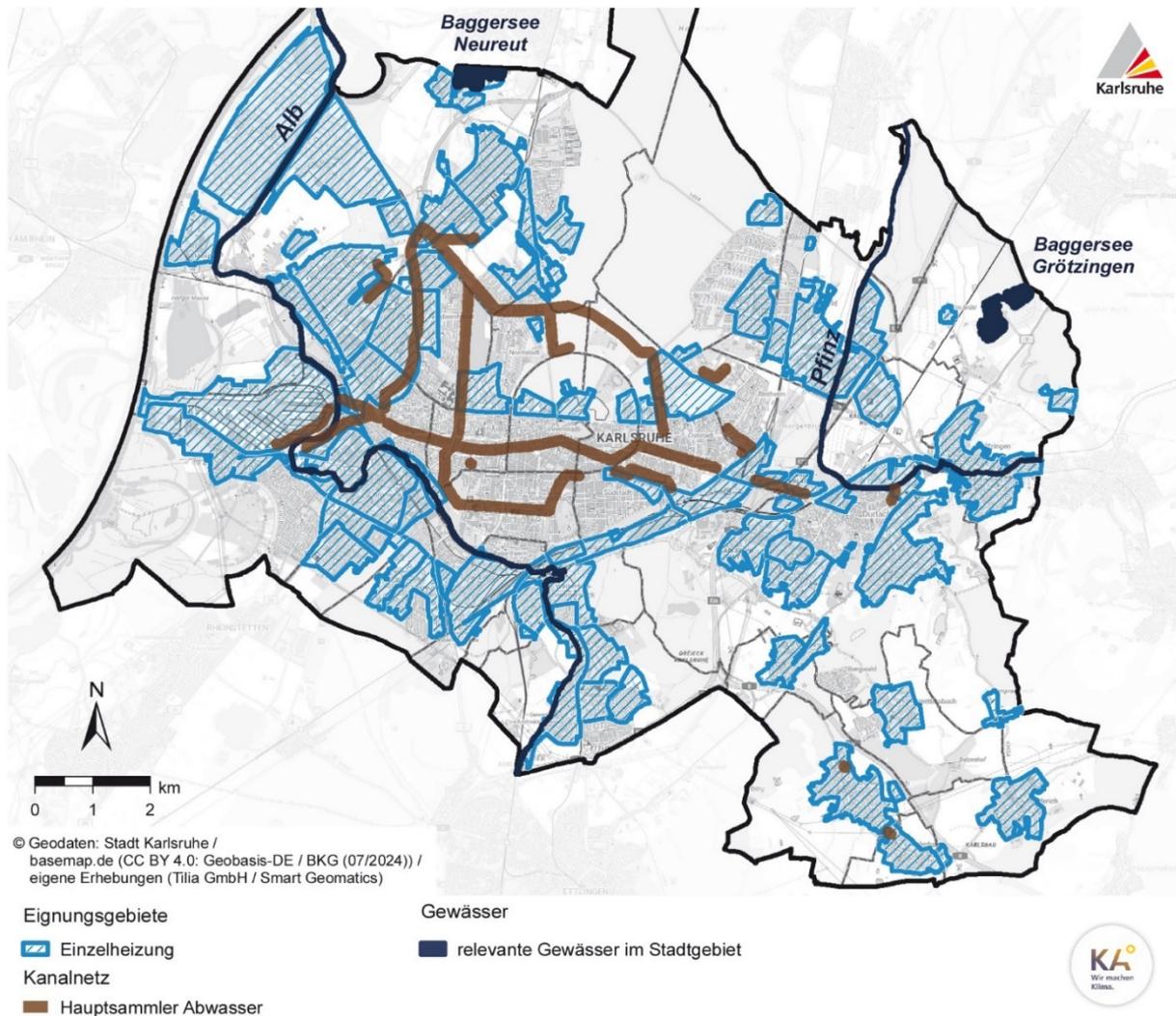


Abb. 2.5: Lageplan größerer Abwasserkanäle, Pfinz und Alb zu Einzelheizungsgebieten

## 2.5 AUSBLICK: WEITERE ENTWICKLUNG BEI WÄRMEPUMPEN

Die energiepolitischen Veränderungen der letzten Jahre haben den Wärmepumpenmarkt gestärkt. Zahlreiche Hersteller (z.B. Bosch, Viessmann, Vaillant, Stiebel Eltron) haben ihre Produktionskapazitäten ausgebaut und ihre Bemühungen zur Weiterentwicklung der Wärmepumpentechnik intensiviert. Als wesentliche Folgen dieser Entwicklung sind zu erwarten:

- Preisreduzierung durch Serienfertigung
- Verbesserung der Effizienz
- Erhöhung der erreichbaren Vorlauftemperaturen
- Reduzierung der Schallemissionen bzw. Verbesserung des Schallschutzes
- Verstärkter Einsatz von natürlichen Kältemitteln, Ersatz von FKW-Kältemitteln
- Entwicklung von Großwärmepumpen für Fernwärme und Industrie

### 3 TIEFENGEOTHERMIE

Der Tiefengeothermie kommt aufgrund der geologisch äußerst vorteilhaften Bedingungen im Oberrheingraben eine besondere Bedeutung zu. Einige km entfernt von Karlsruhe, in Bruchsal, ist seit einigen Jahren bereits eine Tiefengeothermiebohrung in Betrieb und versorgt ein Gebäudeareal in der Nähe der Bohrung. Die Anlage wird von EnBW und den Stadtwerken Bruchsal betrieben und soll in den nächsten Jahren erweitert werden.

Darüber hinaus sind derzeit im Oberrheingraben im Raum Karlsruhe zahlreiche weitere Tiefengeothermiebohrungen von verschiedenen Unternehmen in Vorbereitung, eine erste Bohrung wurde in Graben-Neudorf niedergebracht. In einer Tiefe von 3.800 Metern hat die Deutsche Erdwärme GmbH dort hohe Temperaturen von 200 °C festgestellt und ist gegenwärtig damit beschäftigt, den Untergrund weiter zu untersuchen. Eine zweite Bohrung, die für eine Wärmenutzung erforderlich ist, wird vorbereitet. Im Stadtkreis Karlsruhe sind zwei weitere Tiefengeothermiebohrungen in Planung, im Rheinhafen und in Neureut.

Pro Bohrungsdoulette erwartet man eine Wärmeleistung von 30 – 40 MW, die praktisch ganzjährig zur Verfügung stehen würden. Somit können bis zu 320.000 MWh Wärme pro Jahr aus einer Tiefengeothermiebohrung gewonnen werden. Für die Dekarbonisierung der Fernwärmeversorgung in Karlsruhe werden daher ein bis zwei solcher Anlagen erforderlich sein.

#### 3.1 STAND DER PLANUNGEN MÖGLICHER TIEFENGEOTHERMIEBOHRUNGEN

Für die Durchführung von Tiefengeothermiebohrungen und die anschließende Nutzung der Erdwärme vergeben die Bergämter sogenannte Aufsuchungserlaubnisse und nachfolgend Nutzungserlaubnisse, sogenannte Konzessionen. In Baden-Württemberg ist dafür die Landesbergdirektion im Regierungspräsidium Freiburg die zuständige Bergbehörde. Ein Überblick über die bestehenden Aufsuchungs- und Nutzungserlaubnisse, ist in Abb. 3.1 dargestellt. Diese gelten für 3 Jahre und können danach erneuert oder auch wieder zurückgegeben werden.

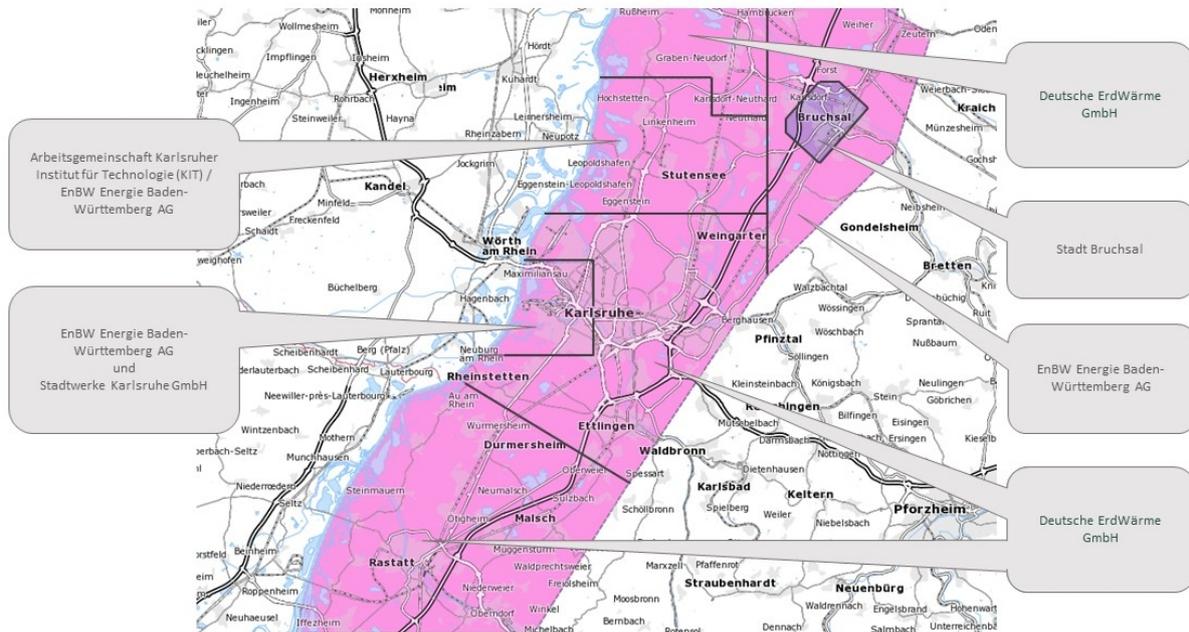


Abb. 3.1: Kartenausschnitt Aufsuchungserlaubnisse Quelle LGRB Kartenviewer, aufgerufen 29.4.2024

Wie aus Abb. 3.1 hervorgeht, besitzt die Kooperation Stadtwerke Karlsruhe/Energie Baden-Württemberg die Erlaubnis für das Hafengebiet Karlsruhe, die Deutsche Erdwärme GmbH die Aufsuchungserlaubnis für das restliche Stadtgebiet und auch für einen erheblichen Teil des Landkreises Karlsruhe. Diese Aufteilung für das Stadtgebiet ist jedoch zwischen den genannten Unternehmen strittig und wird derzeit vor dem Verwaltungsgericht geklärt. Gegen eine Entscheidung des Verwaltungsgerichts ist eine Revision vor dem Oberverwaltungsgericht möglich, sodass eine letztinstanzliche Klärung dieser Frage möglicherweise erst im Laufe des Jahres 2025 erfolgen könnte.

Es ist fraglich, ob eine der Parteien vor Abschluss dieser gerichtlichen Klärung nennenswerte Investitionen tätigen wird, zumal der nächste Realisierungsschritt eine sogenannte 3D-Seismik wäre, bei der mit Hilfe von Schallwellen der Untergrund erkundet wird. Eine solche Untersuchung erfordert erhebliche Investitionen und wird zweckmäßig in einem größeren Radius um die geplanten Bohrstandorte durchgeführt. Eine Zusammenarbeit der beiden Parteien bei der Durchführung der 3D-Seismik wäre daher ebenfalls sinnvoll. Hier wäre es wünschenswert, dass eine neutrale Stelle oder die Politik im Umfeld zwischen den beiden Parteien vermittelt, eine gütliche Einigung anstelle des Gerichtsweges initiiert und damit den Zeitbedarf bis zum nächsten Realisierungsschritt verkürzen könnte.

Die 3D-Seismik dient dazu, den aus geologischer Sicht optimalen Bohrstandort zu finden. Danach kann ein Bohrplatz gesucht werden, der eine Fläche von ca. 2 bis 3 ha benötigt (entspricht ungefähr 3-4 Fußballfeldern). Die Suche nach einer solchen Fläche erfordert Zeit, erfahrungsgemäß ca. ein bis zwei Jahre für die Verhandlungen mit dem oder den Grundstückseigentümer\*innen. Die EnBW hat mitgeteilt, dass sie ein Grundstück im Hafengebiet besitzt, was diesen Zeitplan verkürzen könnte. Im Anschluss an die Lokalisierung des Bohrplatzes erfolgt die Erstellung und Einreichung der Unterlagen

zur Genehmigung eines sogenannten Hauptbetriebsplans beim Bergamt Freiburg. Nach Erteilung der Genehmigung kann mit der Bohrung begonnen werden. Nach Abschluss der Bohrungen, welche in der Regel zwei Bohrungen umfassen, sowie der Erkundung der Bohrlöcher kann die sogenannte „Obertägige Anlage“ geplant und errichtet werden. Dies geschieht, nachdem eine Nutzungserlaubnis des Bergamtes erteilt wurde.

Der Zeitbedarf für die Schritte von der Erstellung einer 3D-Seismik bis zur Inbetriebnahme der Wärmegewinnung kann aufgrund von Erfahrungen bei vergleichbaren Projekten auf ca. sechs bis acht Jahre geschätzt werden. Dieser Zeitraum kann evtl. verkürzt werden, wenn zukünftige Gesetzesänderungen zu konkreten Vereinfachungen bei den Genehmigungsverfahren führen.

Da die Errichtung einer solchen Anlage, insbesondere die Tiefenbohrung selbst, Investitionen in zweistelliger Millionenhöhe erfordert, andererseits aber auch klimaneutrale Energie (Wärme und/oder Strom) erzeugt, gibt es in Deutschland derzeit zwei Fördermöglichkeiten für die Energiegewinnung aus Tiefengeothermie, die **nicht** miteinander kombiniert werden können:

1. **Die Erzeugung von Strom** wird nach dem Erneuerbaren-Energie-Gesetz (EEG) gefördert: Für das Einspeisen von Strom ins öffentliche Netz erhält der Betreiber eine fixe Vergütung pro kWh über einen Zeitraum von 20 Jahren.
2. **Die Erzeugung von Wärme** wird durch die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) in Form eines Investitionszuschusses von bis zu 40 % gefördert.

Aufgrund ihrer Höhe ist zum heutigen Stand die Förderung nach BEW derzeit deutlich lukrativer, sodass es wirtschaftlich ist, Tiefengeothermieanlagen dort zu bauen, wo die Einspeisung und „der Verkauf“ von Wärme über einen längeren Zeitraum im Jahr möglich ist, d.h. wo größere Wärmeabnehmer, wie Fernwärmenetze, bereits vorhanden sind oder in relativ kurzer Zeit aufgebaut werden können. Das Karlsruher Fernwärmenetz wäre zweifellos ein solches Netz, allerdings wird dort bereits sehr kostengünstige Abwärme im Wesentlichen aus der Mineraloelraffinerie Oberrhein (MiRO) genutzt, sodass aus derzeitiger Sicht die Nutzung von Erdwärme aus Geothermie erst dann wirtschaftlich möglich ist, wenn sich eine der derzeitigen Randbedingungen ändert:

- die Raffinerie MiRO wird umgebaut oder stillgelegt mit dem Ergebnis, dass weniger oder gar keine Abwärme verfügbar ist, bzw.
- Die saisonale Wärmespeicherung (s. Abschnitt 8.2. zum Vorhaben DeepStor) ist technisch und wirtschaftlich machbar, bzw.
- Die Förderbedingungen der Tiefengeothermie ändern sich erheblich

Somit ist zu erwarten, dass die Tiefengeothermie insbesondere mit Blick auf die bisherige Strategie/Zeitplanung der SWK eventuell nach 2030 einen signifikanten Beitrag zur Dekarbonisierung der Fernwärme in Karlsruhe leisten kann.

### 3.2 STAND DER TECHNIK BEI SAISONALEN WÄRMESPEICHERN

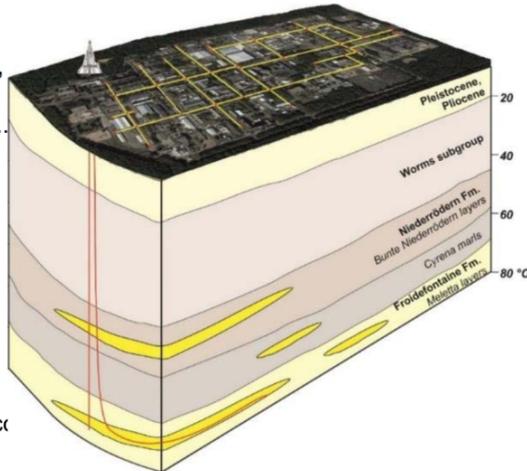
Tiefengeothermieanlagen sind in der Lage, über das gesamte Jahr hinweg annähernd konstante Wärme zu liefern. Dies korrespondiert bekanntlich nicht mit dem tageszeitlich und jahreszeitlich stark schwankenden Wärmebedarf für die Beheizung von Gebäuden. Für den Ausgleich tageszeitlicher



sogenannten Hauptbetriebsplan, d.h. für die Durchführung der ersten Bohrung. Wie aus Abb. 3.3 hervorgeht, soll diese Bohrung auf dem Gelände des KIT Nord durchgeführt werden. Diese kann voraussichtlich im Jahr 2025 abgeschlossen werden, sodass ab 2026 die vorgesehenen Tests erfolgen können, z.B. zur Untersuchung der Einflüsse der Wasserbestandteile (Kalk, Resterdöl, etc.) und der Hydraulik. Es wird ein Wirkungsgrad von 80 % erwartet, d.h. bei der saisonalen Speicherung werden nur 20 % Wärmeverluste erwartet.

## DeepStor Project Outreach

- High visibility
  - At decision makers and local communities
  - Worldwide & European academic partners,
  - Additional industrial support
    - Utilities, Town of Karlsruhe, drilling industry, ..
  - Co-sponsored theses on similar topics
- Project Progress
  - Wellbore planning / logging program:
    - Permitting under way
  - Technical challenges: e.g.
    - combined use of injection/production pump
    - Calcite precipitation, hydrochemistry
  - Scientific challenges: e.g.
    - impact of hydrochemistry under varying P/T  $\alpha$
    - Impact of residual oil

8
Thomas Kohl – 240628\_KIT\_für\_Tilia  
Geothermal Research & Reservoir Technology, Research, Education and Lecturing, KIT
Institute of Applied Geosciences  
Department of Geothermal Energy

Abb. 3.3: Forschungsvorhaben des KIT

Da das Vorhaben öffentlich gefördert wird, werden die Forschungsergebnisse ebenfalls veröffentlicht und können von anderen Interessenten genutzt werden. Dabei ist zu beachten, dass für Vorhaben dieser Art die Zustimmung des jeweiligen Konzessionsinhabers (siehe Abb. 3.1) erforderlich ist. Das KIT geht davon aus, dass die Ergebnisse des Vorhabens auf andere Reservoirs (siehe Abb. 3.2) übertragen werden können. Es bleibt abzuwarten, welche Kosten für die Errichtung und für den Betrieb eines solchen Speichers zu kalkulieren sind und ob diese Kosten in die Preisstruktur der Fernwärmeversorgung passen werden.

## 4 ANLAGEN

### Anlage 1

Herleitung der Anzahl der Wärmepumpen, die für die Klimaneutralität 2040 in Karlsruhe eingebaut werden müssen. Hierfür wurden die Gebäudedaten, die im Energieleitplan erhoben wurden, erneut ausgewertet.

Anzahl der beheizten <b>Wohngebäude im Gebiet Einzelheizungen:</b>	<b>rd. 24.540</b>
Davon Anzahl der Gebäude mit <b>Fernwärmeanschluss:</b>	rd. 260
Davon Anzahl der Gebäude mit <b>Nahwärmeanschluss:</b>	rd. 760
Davon Anzahl der Gebäude mit <b>Wärmepumpen</b>	rd. 330
Davon Anzahl der Gebäude mit <b>Holzheizung:</b>	rd. 490
Davon Anzahl der Gebäude mit <b>el. Nachtspeicherheizung:</b>	rd. 530
Somit Anzahl der Gebäude beheizt mit <b>erneuerbaren Energien:</b>	<b>rd. 2.370</b>
Anzahl der beheizten Gebäude <b>ohne Information über Energieträger:</b>	<b>rd. 3.540</b>
(erfahrungsgemäß handelt es sich hier um Gebäude, die durch andere Gebäude/Zähler versorgt werden, bleiben daher außer Betracht)	
Anzahl der beheizten Gebäude mit <b>Brennstoff Erdgas:</b>	rd. 13.400
Anzahl der beheizten Gebäude mit <b>Brennstoff Heizöl:</b>	rd. 5.160
Anzahl der beheizten Gebäude mit <b>Brennstoff Flüssiggas:</b>	rd. 70
Anzahl der beheizten Gebäude mit <b>Brennstoff Kohle:</b>	0
Somit Anzahl der Gebäude mit <b>fossilen Energieträgern</b>	<b>rd. 18.630</b>

## Anlage 2

Beispiele für Kalte Nahwärmenetze:

1. Quartier Ettlingen-Schluttenbach: [www.ettlingen.de/energiekonzept+schluttenbach](http://www.ettlingen.de/energiekonzept+schluttenbach)
2. Kaltes Nahwärmenetz Murg: [Waermewende Murg \(kea-bw.de\)](http://WaermewendeMurg(kea-bw.de))
3. Kaltes Nahwärmenetz Schallstadt: [Waermewende Schallstadt \(kea-bw.de\)](http://WaermewendeSchallstadt(kea-bw.de))
4. Neubauquartier Hainer See: [Innovatives Aquathermie-Projekt am Hainer See - Tilia](http://InnovativesAquathermie-ProjektamHainerSee-Tilia)
5. Leuchtturmprojekt Paris-Saclay: [Smartes Wärme- und Kältenetz von Paris Saclay - Projekte von Tilia](http://SmartesWaerme-undKaeltenetzvonParisSaclay-ProjektevonTilia)

## Anlage 3 Quellenverzeichnis

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) *Leitfaden für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm bei stationären Geräten in Gebieten, die dem Wohnen dienen, 2023*; abgerufen am 01.08.2024 von [https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/leitfaden-laerm-bei-stationaeren-geraeten-kurzfassung\\_1698053205.pdf](https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/leitfaden-laerm-bei-stationaeren-geraeten-kurzfassung_1698053205.pdf)

Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz; Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (Juni 2024) *Leitfaden Wärmeplanung*. Abgerufen am 23. Juli 2024 von <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/wohnen/leitfaden-waermeplanung-lang.pdf>

Bundesverband Wärmepumpe e.V. (o.D.) *Wie funktioniert die Wärmepumpe?* Abgerufen am 17. Juli 2024 von <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion-waermequellen/>

Dein-Heizungsbauer.de (o.D.) *Kältemittel in Wärmepumpen*. Abgerufen am 17. Juli 2024 von <https://www.dein-heizungsbauer.de/ratgeber/bauen-sanieren/kaeltemittel-waermepumpe/>

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln. (20. Juni 2023). *Auswirkungen des Gebäudeenergiegesetzes auf Wohngebäude*. Abgerufen am 17. Juli 2024 von [https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2023/06/230620\\_EWI-Insights\\_Gebaeudeenergiegesetz.pdf](https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2023/06/230620_EWI-Insights_Gebaeudeenergiegesetz.pdf)

Hausjournal.net (19. Januar 2021) *Wie sich der Lärm einer Luftwärmepumpe dämmen lässt*. Abgerufen am 31. Mai 2024 von <https://www.hausjournal.net/luftwaermepumpe-laerm-daemmen>

LUBW Kartendienst, abgerufen am 08.08.2024 unter: [Umwelt-Daten und -Karten Online \(UDO\) \(baden-wuerttemberg.de\)](http://Umwelt-Daten-und-KartenOnline(UDO)(baden-wuerttemberg.de))

Praxisleitfaden für Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern, abgerufen am 08.08.2024 unter: [Praxisleitfaden für Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern. Status Quo. Erfahrungen. \(dena.de\)](http://PraxisleitfadenfürWärmepumpeninMehrfamilienhäusern.StatusQuo.Erfahrungen.(dena.de))