

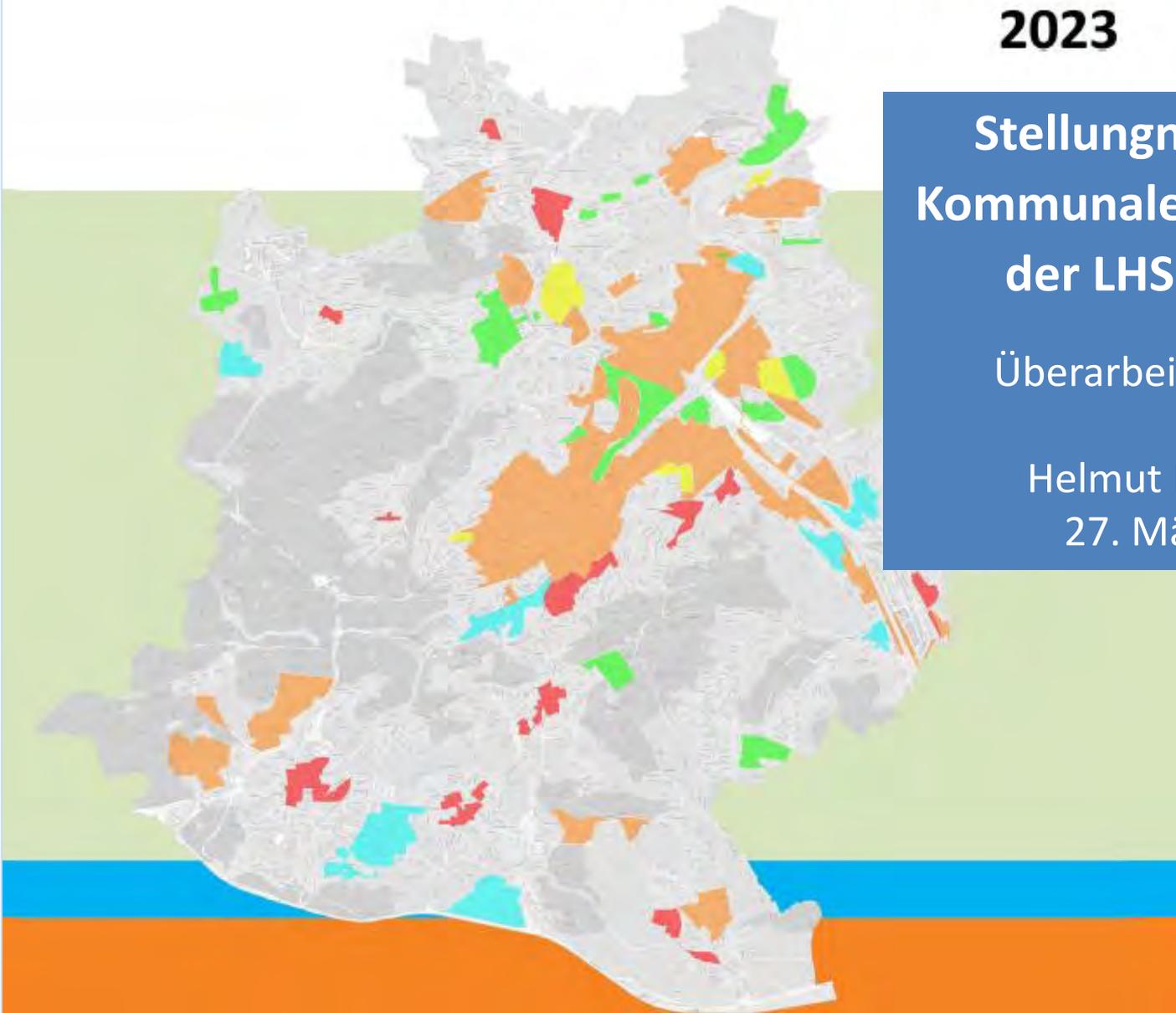
Kommunale Wärmeplanung 2023

Stellungnahme zum Kommunalen Wärmeplan der LHS Stuttgart

Überarbeitete Version

Helmut Böhnisch¹⁾

27. März 2024



1) Informationen zur Person des Autors

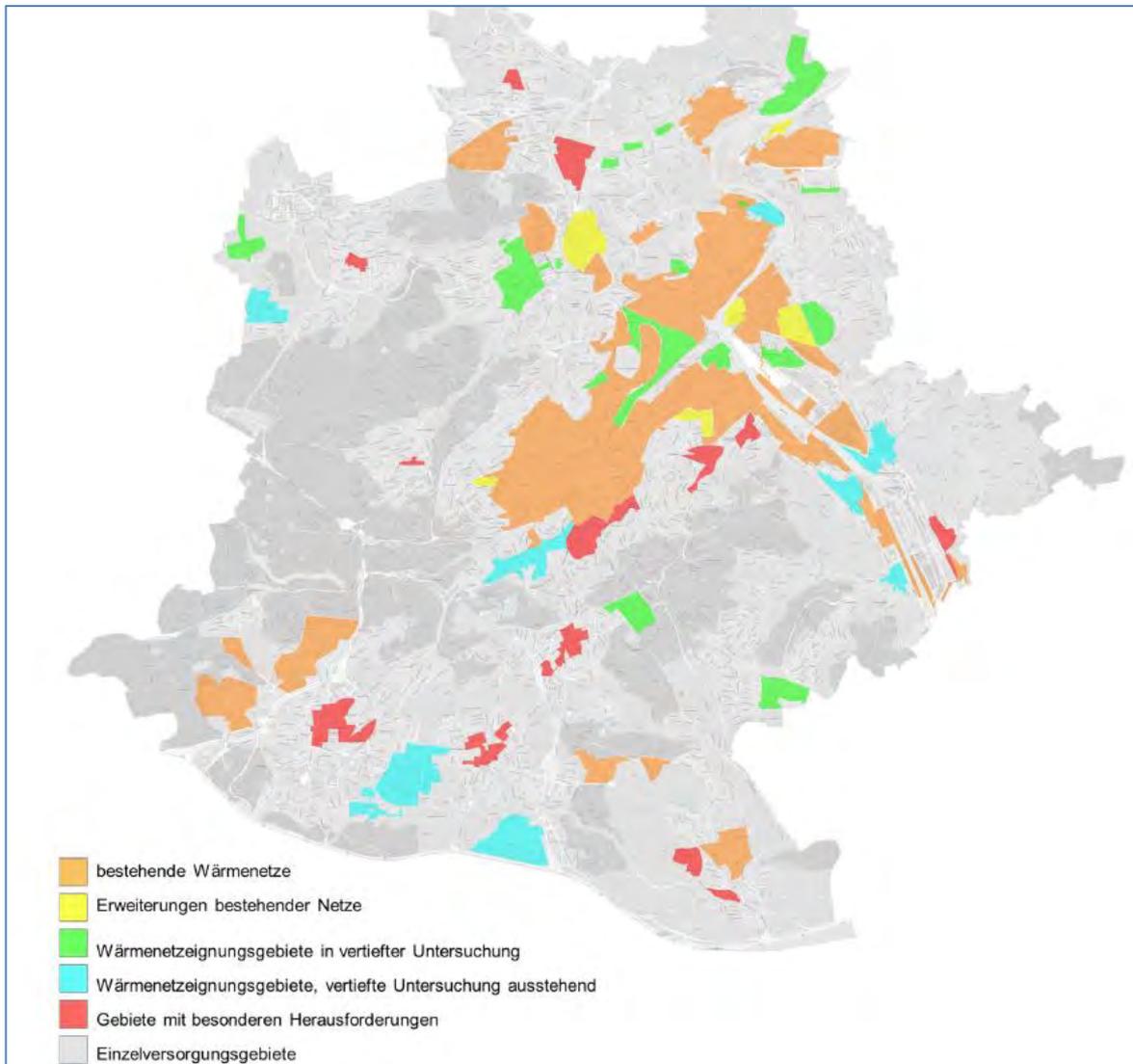
- Windenergieforschung von 1982 – 1991 (Universität Stuttgart und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)
- 1991 - 2007 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung; Fachgebiet Systemanalyse
- 2007 – 2020 Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg
 - ✓ Leiter des Bereichs Wärmenetze, ab 2015 zusätzlich Leiter des Kompetenzzentrums Wärmenetze
 - ✓ 2017/2018 Mitbegründer des Deutsch-Dänischen Dialogs Wärmenetze in Baden-Württemberg
 - ✓ Ab Januar 2018 Projektkoordinator des Forschungsprojekts ANSWER-Kommunal (Thema: Kommunale Wärmeplanung)
 - ✓ 2019 – 07/2020 Projektleiter Leitfaden Kommunale Wärmeplanung im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg
 - ✓ 09/2020 – 06/2022: Freier Mitarbeiter bei KEA-BW
- Seit 1978 Einwohner von Stuttgart; seit 1987 im Stadtbezirk Hedelfingen

Inhaltsübersicht

1. Kurzfassung der Stellungnahme (Folien 4 – 17)
2. Eignungsgebiete für neue Wärmenetze im KWP (Folien 18 – 43)
3. Potenzialermittlung Abwärme und EE im KWP (Folien 44 – 56)
4. EnBW-Fernwärme und bestehende Netze (Folien 57 – 62)
5. Einzelversorgung mit dezentralen WP (Folien 63 – 79)
6. Systemdienstleistungen von Wärmenetzen (Folien 80 – 86)
7. Alternativer Planungsansatz für vier Stadtbezirke (Folien 87 – 119)
8. Integrierte Wärmeversorgung in Stuttgart (Folien 120 – 132)
9. Anhang (Folien 133 – 139)

Kurzfassung der Stellungnahme

Neue Netzgebiete im Kommunalen Wärmeplan Stuttgart (KWP)

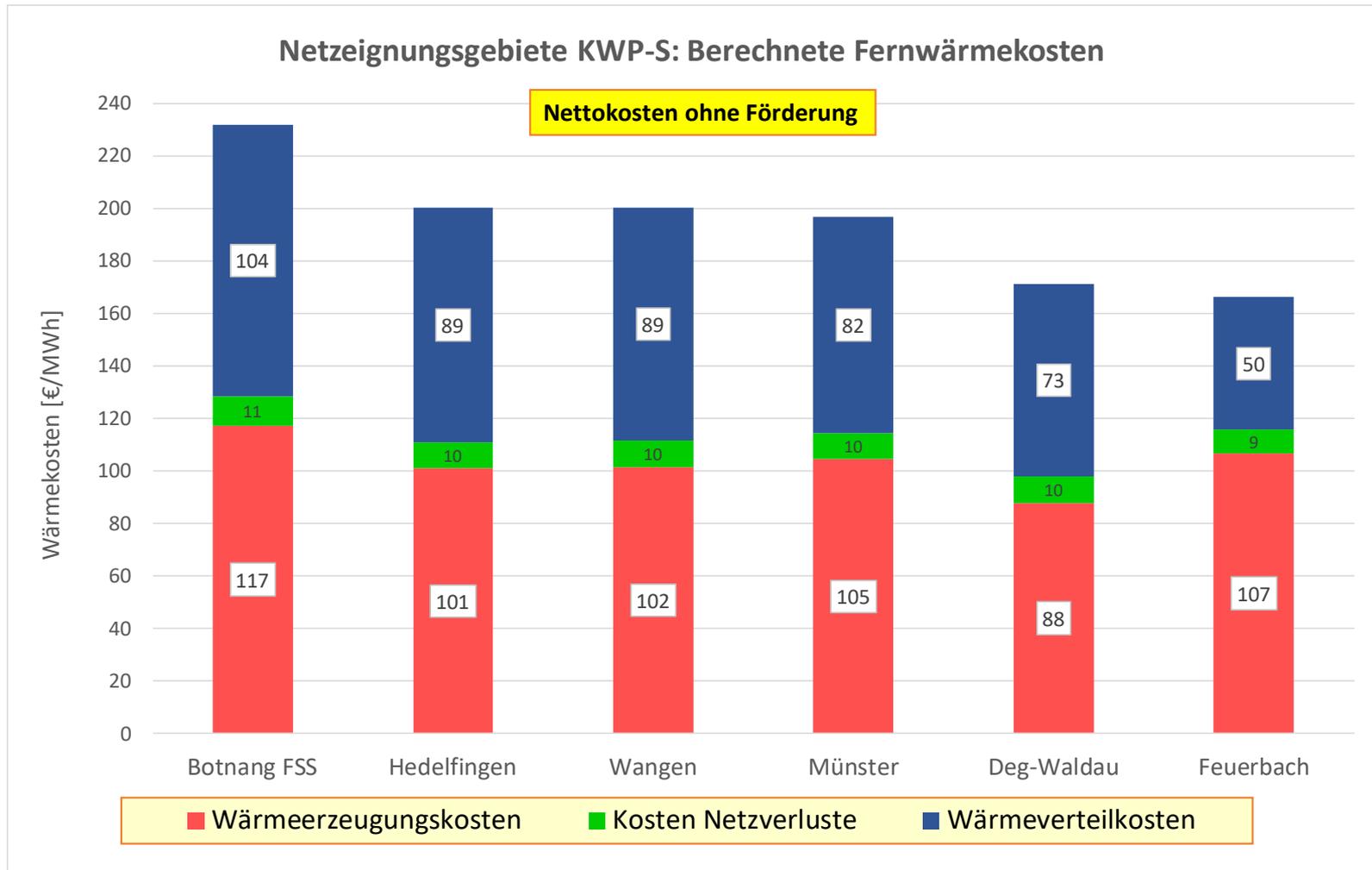


Ziele für 2035 – Anteil am Endenergieverbrauch:
Neue Netze: 18,7 %
EnBW-Fernwärme: 30,6 %
Bestehende Netze: 8,0 %
Summe: 57,4 %

Anteil der Flurstückfläche für Wärmenetze:
Neue Netze: 5,3 %
EnBW-Fernwärme: 7,0 %
Bestehende Netze: 2,1 %
Summe: 14,5 %

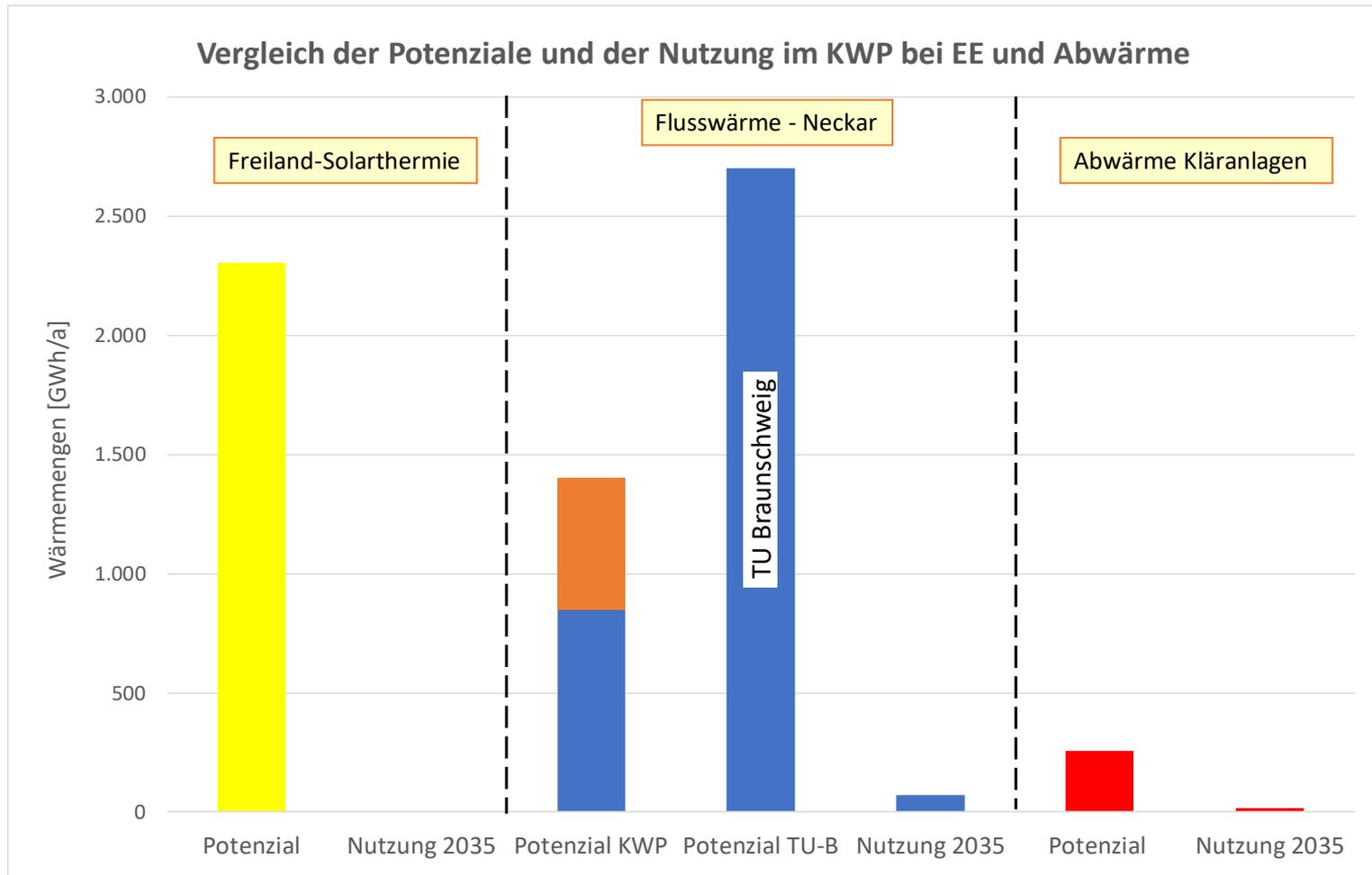
Quelle: Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 68

Fernwärmekosten für ausgesuchte Quartiere im KWP



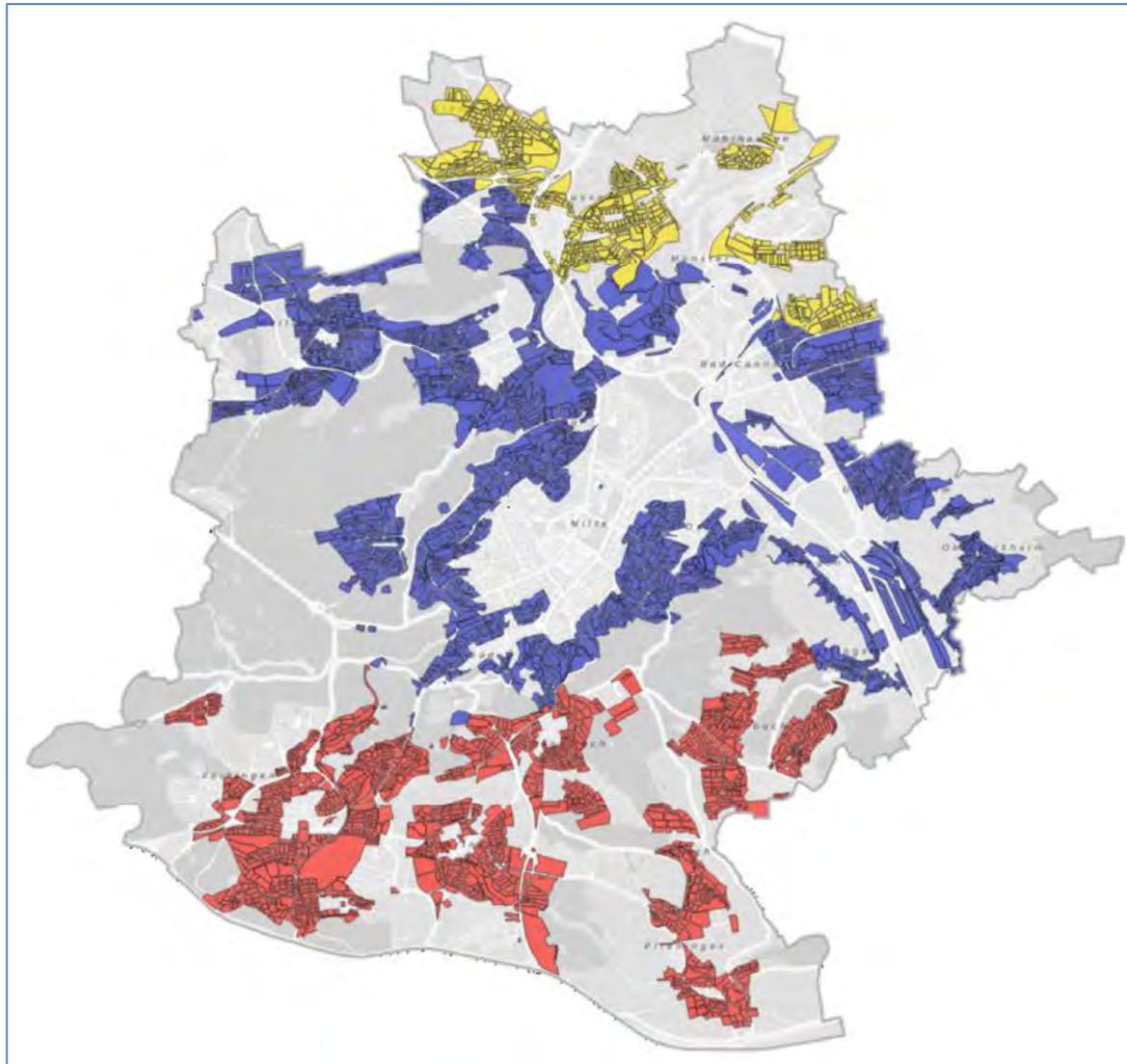
Berechnung auf Grundlage der Daten in den Quartierssteckbriefen

Grad der Nutzung von Wärmepotenzialen für Netze im KWP



Ein entsprechender Vergleich bei oberflächennaher Geothermie und bei Abwärme aus Abwasser ist nicht möglich, da diese Potenziale nicht quantifiziert wurden

Einzelversorgung im kommunalen Wärmeplan Stuttgart



Nördliches Stuttgart: gelb
Mittleres Stuttgart: blau
Südliches Stuttgart: rot

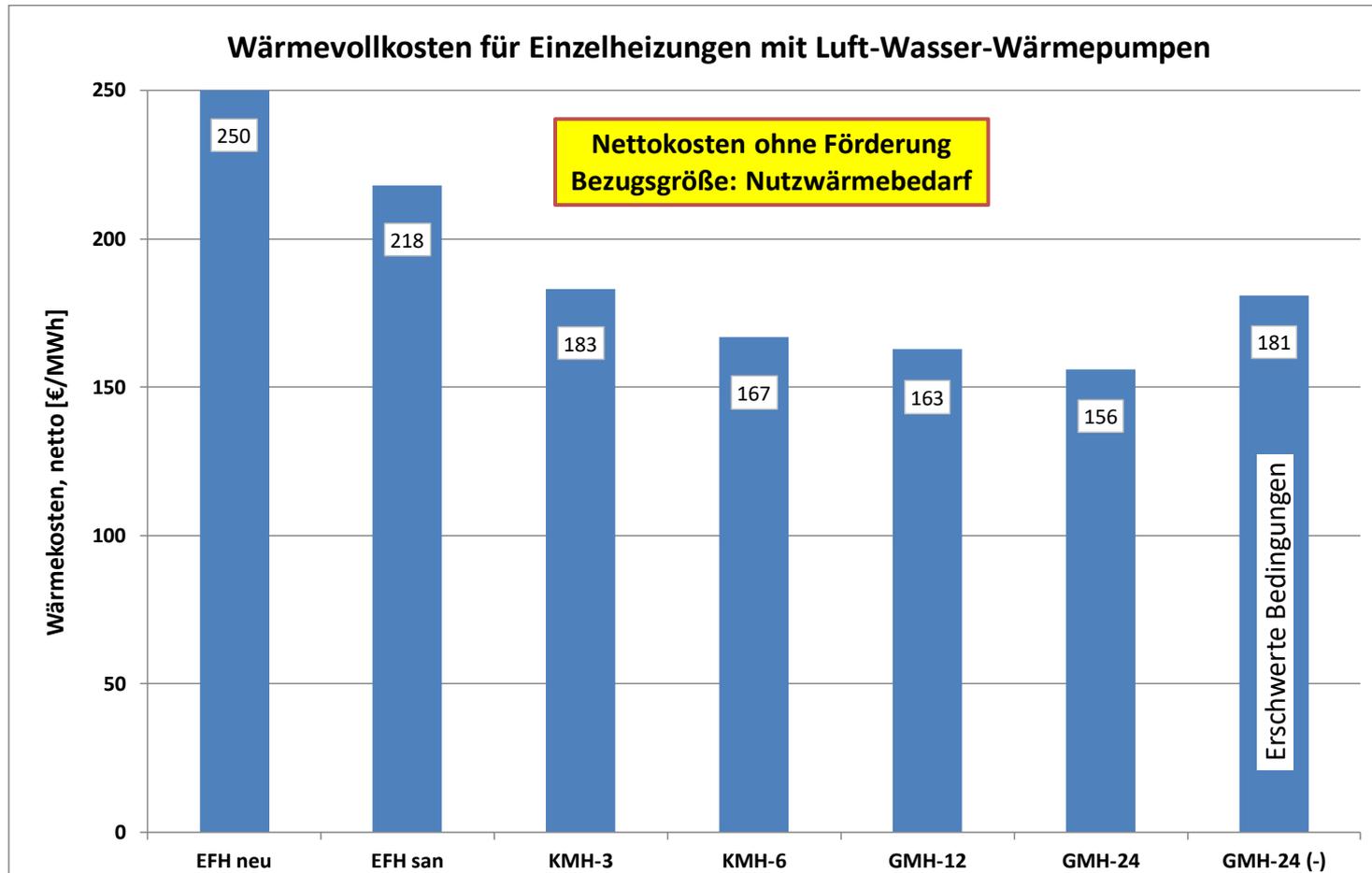
Ziele für 2035 – Anteil am Endenergieverbrauch:

Nördliches Stuttgart: 5 %
Mittleres Stuttgart: 23 %
Südliches Stuttgart: 15 %
Summe: 43 %

Anteil der Flurstückfläche für Einzelversorgung: 86 %

Quelle: Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 69

Wärmevollkosten für dezentrale Luft-Wasser-WP



Im Wärmeplan für Stuttgart wird nicht nachgewiesen, dass dezentrale Luft-Wasser-WP und Sole-Wasser-WP mit Erdsonden in so großer Zahl gebaut werden können, wie geplant

Alternativer Planungsansatz: Beispiel Zuffenhausen



Siedlungsgebiet ohne Porsche-Areal

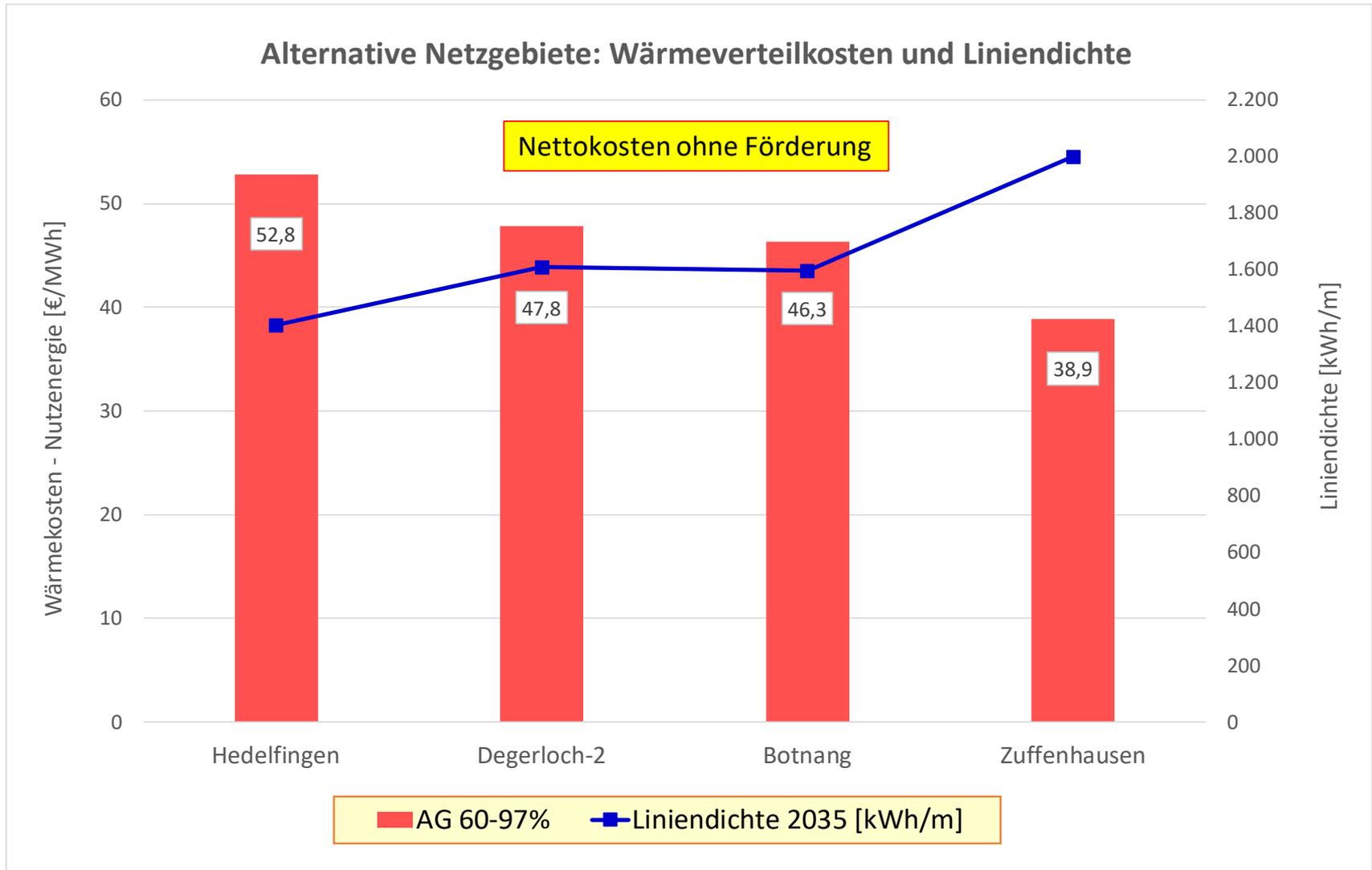
Quelle: <https://www.hotmaps.eu/map>

Alternativer Planungsansatz: Untersuchung von vier Bezirken

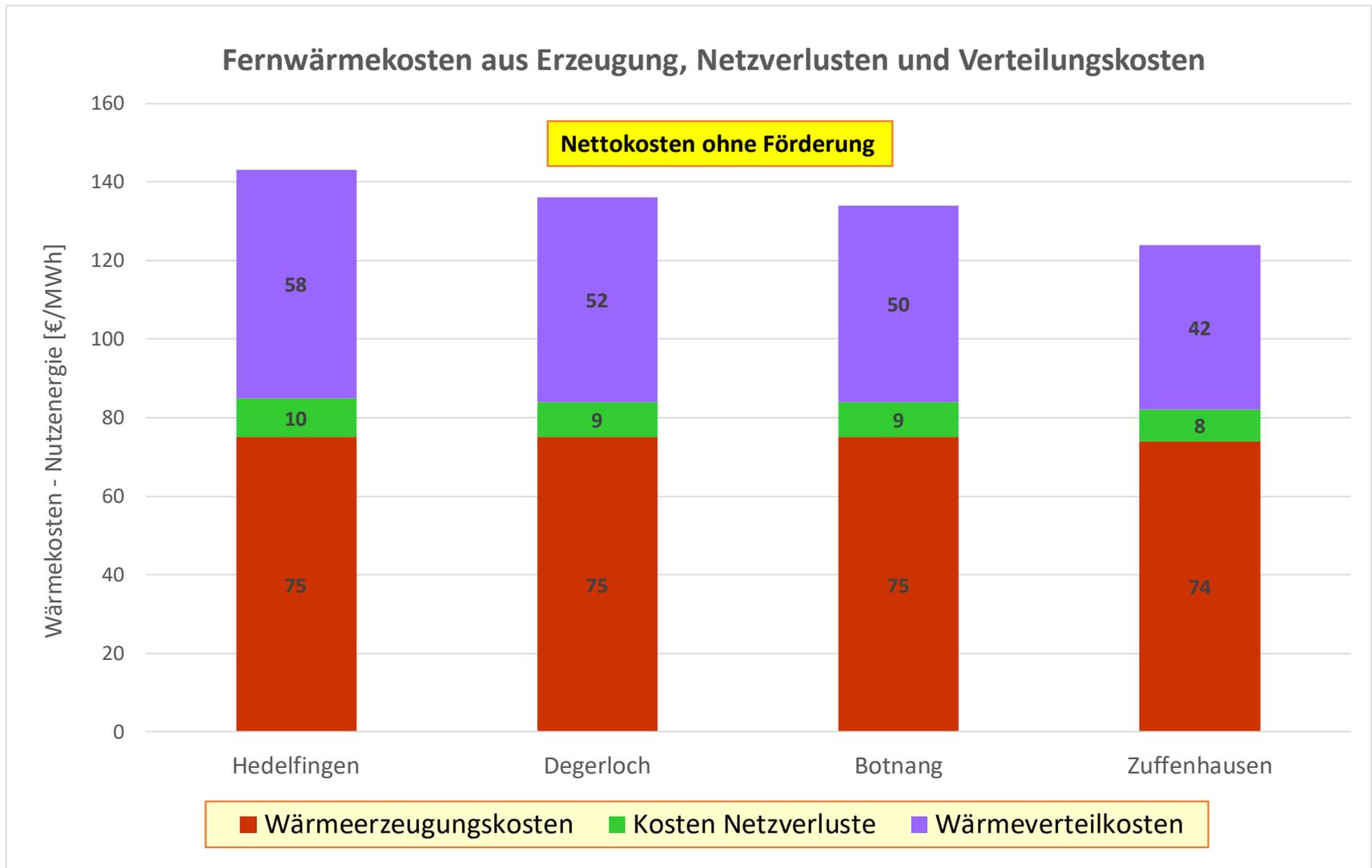
Parameter	Zuffenhausen	Botnang	Hedelfingen	Degerloch
Wärmedichte (Nutzenergie)	633 MWh/ha*a	491 MWh/ha*a	440 MWh/ha*a	545 MWh/ha*a
Trassenlänge	78,4 km	44,5 km	28,1 km	45,9 km
Liniendichte 2035	1.999 kWh/m	1.596 kWh/m	1.403 kWh/m	1.608 kWh/m
AG-Entwicklung ¹	60 – 97 %	60 – 97 %	60 – 97 %	60 – 97 %
Spez. Kosten KWP	1.240 €/m	1.180 €/m	1.200 €/m	1.240 €/m
Spez. Kosten +10%	1.364 €/m	1.298 €/m	1.320 €/m	1.364 €/m
Investitionskosten	97.216.000 €	52.510.000 €	33.720.000 €	56.916.000 €

¹⁾ Entwicklung des Anschlussgrads innerhalb eines Zeitraums von 15 Jahren

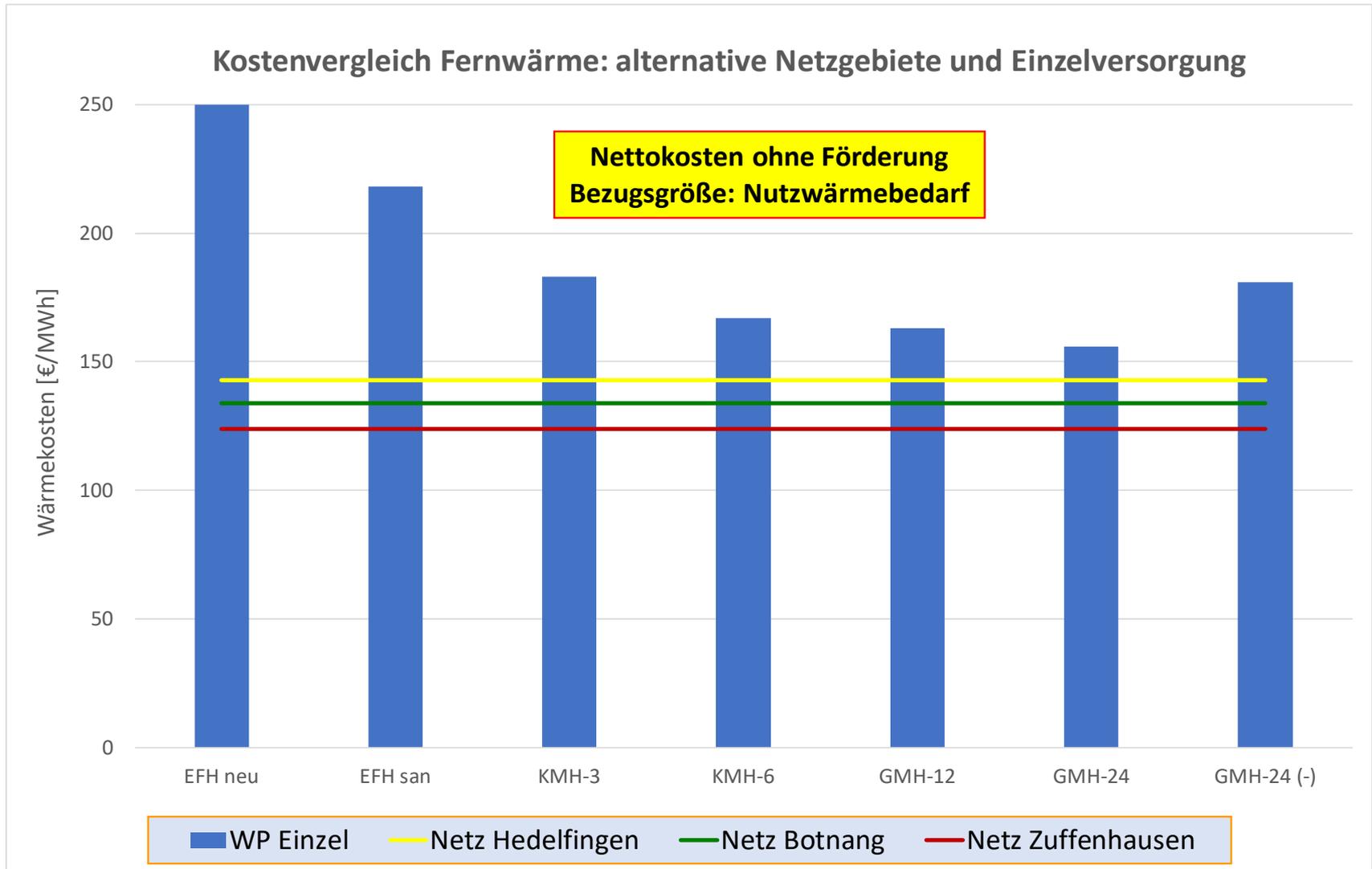
Wärmeverteilungskosten gemäß alternativem Planungsansatz



Fernwärmekosten gemäß alternativem Planungsansatz



Vergleich Fernwärmekosten und Vollkosten Einzelversorgung



Zusammenfassende Bewertung (1)

- Es wurden 43 Eignungsgebiete für neue Wärmenetze ausgewiesen. Deren Endenergieverbrauch im Jahr 2035 liegt zwischen 72 GWh/a und 0,7 GWh/a. Insgesamt 19 Gebiete liegen unter 10 GWh/a.
- Die Fernwärmekosten in den Netzgebieten gemäß KWP liegen häufig bei 200 €/MWh, teilweise sogar darüber.
- Der Aufbau eines integrierten Wärmeversorgungssystems aus neuen und bestehenden Netzen ist laut KWP nicht geplant. Die Systemdienlichkeit von Wärmenetzen spielt im Wärmeplan keine Rolle.
- Die Potenziale für erneuerbare Wärme und Abwärme werden nur zu einem sehr geringen Teil in den neuen Netzen ausgeschöpft.
- Gebiete mit Mehrfamilienhäusern im Privatbesitz, die oftmals hohe Wärmedichten aufweisen, wurden größtenteils ausgeschlossen. So können z. B. WEG nicht von kostengünstiger Fernwärme profitieren.
- Stattdessen sind über 85 % des Siedlungsgebiets der Stadt für Einzelversorgung mit dezentralen Wärmepumpen vorgesehen.

Zusammenfassende Bewertung (2)

- Der kommunale Wärmeplan für Stuttgart wurde unter der Prämisse erstellt, dass „...nur in wenigen Situationen die netzbasierte Versorgung die kostengünstigere Variante darstellt“ (Bericht Kommunale Wärmeplanung S. 58).
- Um zu untersuchen, ob diese Aussage zutrifft, wurden für vier ausgewählte Stadtbezirke Analysen mit einem alternativen Planungsansatz durchgeführt.
- Die Liniendichten der Wärmenetze in diesen Bezirken sind vielfach höher, als in den neuen Netzgebieten des kommunalen Wärmeplans. Gleichzeitig sind die Fernwärmekosten deutlich niedriger.
- Der Vergleich mit den Wärmevolllkosten von dezentralen Wärmepumpen zeigt, dass Einzelversorgung durchweg teurer ist (Folie 14).
- Das Fundament, auf dem der kommunale Wärmeplan für Stuttgart aufbaut, ist aufgrund dieser Ergebnisse nicht tragfähig. Deshalb ist auf jeden Fall eine grundlegende Überarbeitung erforderlich.

Was muss getan werden?

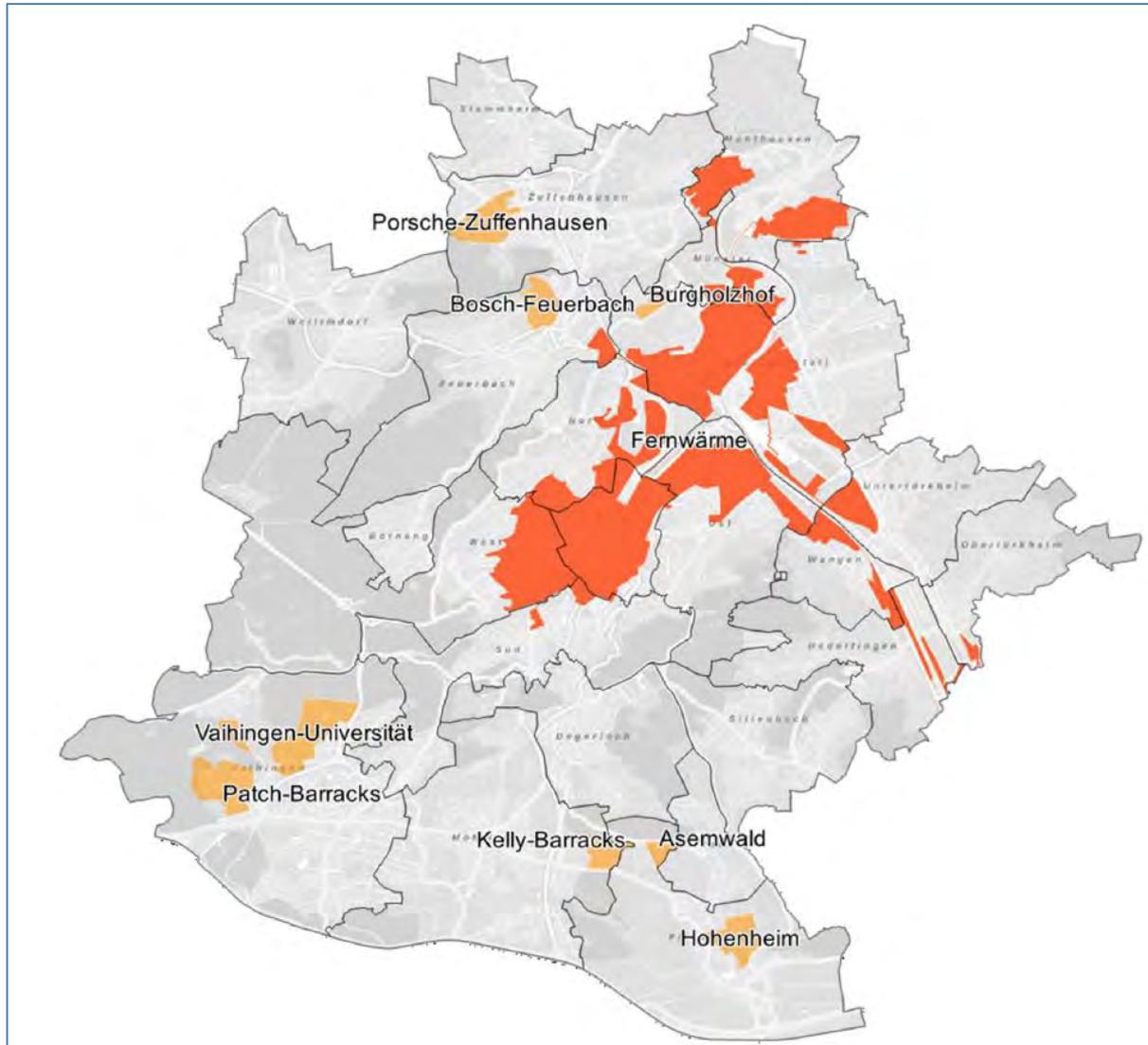
- Grundlegende Überarbeitung des kommunalen Wärmeplans für Stuttgart unter Berücksichtigung der folgenden Randbedingungen:
 - ✓ Volle Ausschöpfung des Potenzials für neue Wärmenetze (Trassenlänge für neue Netze mindestens 1.500 km)
 - ✓ Volle Ausschöpfung des Potenzials der erneuerbaren Energien und des Potenzials aller Arten von Abwärme
 - ✓ Aufbau eines integrierten Wärmeversorgungssystems gemeinsam mit den bestehenden Wärmenetzen inklusive der EnBW-Fernwärme
- Systematische Suche nach Standorten für Großwärmepumpen, Freiland-Solarthermie und großen Elektrolyseuren sowie den dazu notwendigen Energiezentralen inklusive der thermischen Speicher.
- Technische und organisatorische Vorbereitung der Integration der bestehenden Wärmenetze in die Netzgebiete Nord und Süd.
- Überarbeitung des Wärmeplans bis spätestens zum 30.06.2026 (Vorgabe durch das Wärmeplanungsgesetz des Bundes für Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern).

Eignungsgebiete für neue Wärmenetze im kommunalen Wärmeplan Stuttgart (KWP)

Vorbemerkung

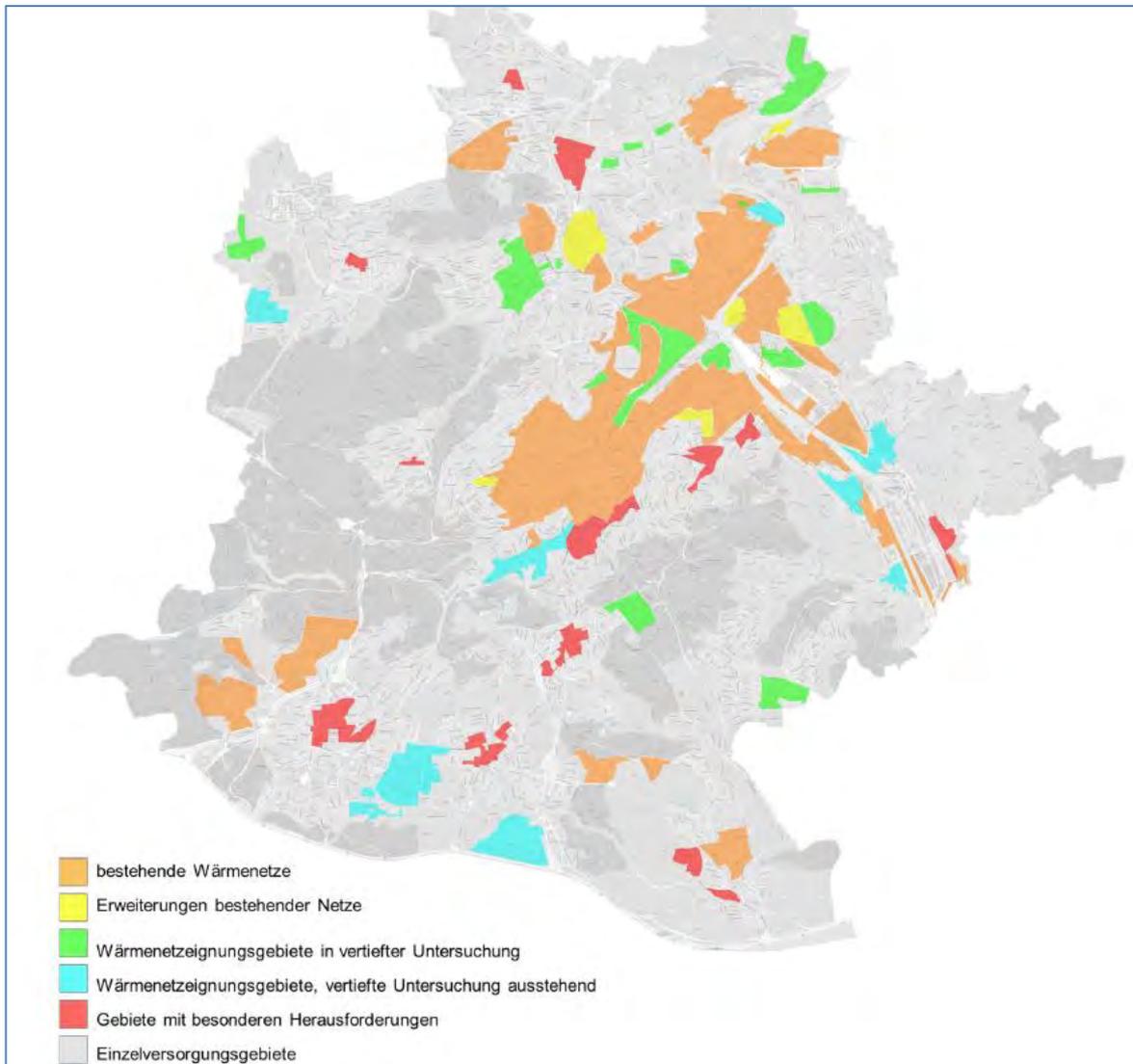
- Die Aussagen und die Berechnungen in der vorliegenden Stellungnahme beziehen sich auf die Inhalte und die in den Quartierssteckbriefen genannten Daten des Berichts „Kommunale Wärmeplanung 2023“ in der Fassung vom 14. Dezember 2023.
- Da sich vor allem die Kosten der Energiezentralen in den Quartierssteckbriefen für neue Wärmenetze im Vergleich zu den Daten, die Ende September 2023 veröffentlicht wurden, in vielen Fällen deutlich geändert haben, hatte das entscheidenden Einfluss auf die Höhe der berechneten Wärmekosten.
- Falls in der Stellungnahme auf Vortragsfolien aus der Präsentation von Dr. Görres vom 29.09.2023 im Ausschuss für Klima und Umwelt zurückgegriffen wurde, handelt es sich um Inhalte, die seit diesem Zeitpunkt unverändert geblieben sind.

Wärmenetze im Stadtgebiet Stuttgart: Ausgangszustand



Quelle: Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 28

Ergebnis der kommunalen Wärmeplanung: Neue Netzgebiete



Ziele für 2035 – Anzahl der Haushalte (Bericht KWP):
44% der Haushalte über Wärmenetze versorgt
EnBW-Fernwärme:
Anteil 23% - heute: 10%

Keine Aussage über Zahl der Nichtwohngebäude (NWG)

Quelle: Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 68

Ziele zum Ausbau der Wärmenetze für 2035 im KWP

Art der Wärmenetze	Anteil Endenergie 2035 ¹	Anteil Flurstückfläche ¹
Wärmenetze in neuen Netzgebieten ²	18,7 %	5,3 %
EnBW-Fernwärme (100 % Anschlussgrad)	30,6 %	7,0 %
Sonstige bestehende Wärmenetze	8,0 %	2,1 %
Summe Anteile	57,4 %	14,5 %
Absolute Gesamtwerte 2035	4.179 GWh/a	20.700 ha
Deckung mit Wärmenetzen 2035	2.399 GWh/a	3.002 ha

¹⁾ Auswertung auf der Grundlage der Daten in den Quartierssteckbriefen

²⁾ Anteil aufgrund von Aktivitäten der Stadt und SWS

Quartierssteckbriefe für Netzeignungsgebiete neuer Netze

Ziele der Quartierssteckbriefe

- Leitfaden für den Weg zum klimaneutralen Quartier
- Zusammenfassung und Darstellung der erfolgten Voruntersuchung
- Hilfestellung für die Bürger*innen
- Grundlage bei Planungen anderer Ämter
- Überblick über die angedachten Entwicklungen
- Einbindung der Akteure in den Quartieren (in einzelnen Quartieren bereits erfolgt)

Übertragung der wichtigsten Daten in Excel-Tabelle für weitere Auswertungen

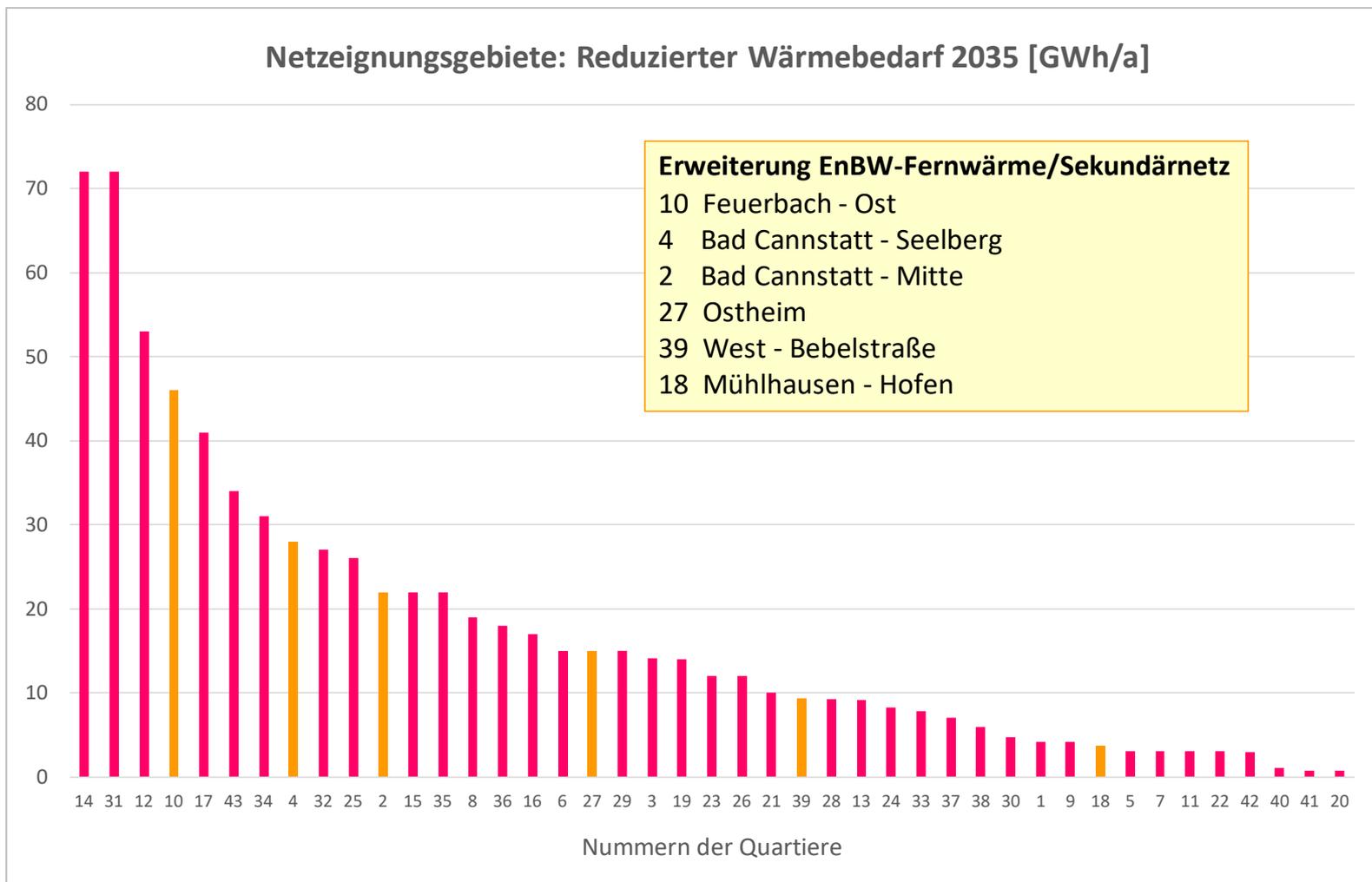
STUTTGART



Landeshauptstadt Stuttgart – Amt für Umweltschutz

Quelle: Folie 38 des Vortrags von Dr. Görres „Vorstellung Ergebnisse der kommunalen Wärmeplanung vom 29. September 2023 (Ausschuss für Klima und Umwelt)

Bandbreite des Wärmeverbrauchs im Jahr 2035 (Endenergie)



Eine Tabelle mit der Zuordnung der Nummern zu den Quartieren befindet sich im Anhang (Folie 134)

Vorgehensweise bei der Abgrenzung der Netzeignungsgebiete

Entwicklung einer Bewertungsmatrix

Kriterium		nicht geeignet	Wenig geeignet	geeignet	Sehr geeignet	ausgezeichnet	Gewichtung
vergebene Punkte		0	1	2	3	4	
besseres Ergebnis wird gewertet	Wärmeverbrauchs-dichte in MWh/(ha*a)	< 400	400 - 800	800 - 1.200	1.200 - 2.500	> 2.500	5
	Wärmebedarf pro Flurstück in kWh/a	< 150.000	150.000 - 300.000	300.000 - 600.000	600.000 - 1.200.000	> 1.200.000	5
Verbrauch Nichtwohngebäude/ Wohngebäude in %		–	0 % – 20 % 80 % – 100 %	21 % – 39 % 61 % – 79 %	40% – 60 %	–	1
Verbrauchsanteil Eigentümerart nicht-privat in %		0 % - 19 %	20 % - 39 %	40 % - 59 %	60 % - 90 %	> 90 %	4
Anteil Verbrauch erneuerbarer Energieträger in %		–	20 % - 30 %	10 % - 20 %	0 % - 10 %	–	4
Ergebnisse und Grenzwerte		< 23	23 - 29	30 - 37	> 38	–	

Quelle: Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 63

Bewertung der Methode zur Gebietsabgrenzung (1)

- Wärmedichte: Da Verkehrsflächen ebenfalls einen Einfluss auf die Wärmedichte und damit auch auf die Trassenlänge haben, wäre es von Vorteil, bei der Berechnung der Wärmedichte die Gesamtfläche statt die Flurstückfläche zu verwenden.
- Verhältnis Verbrauch WG/NWG: Das Kriterium soll dazu beitragen, Lastspitzen zu vermeiden. Falls jedoch das Versorgungsgebiet eines Wärmenetzes im Wesentlichen durch Wohnhäuser geprägt ist, kann die Spitzenlasterzeugung einfach mit Elektrokesseln, die geringe spezifische Investitionskosten aufweisen, realisiert werden. Die Auslegung muss dabei so erfolgen, dass die Volllaststunden des Elektrokessels möglichst gering bleiben. Dies erfordert u. a. großzügig dimensionierte thermische Speicher. Große, ausgedehnte Netzgebiete weisen zudem häufiger eine gute Durchmischung der Abnehmer auf, im Gegensatz zur Einzelversorgung von WG, wo in jedem Fall hohe Lastspitzen abgedeckt werden müssen.
→ Dieses Kriterium ist somit nicht relevant.

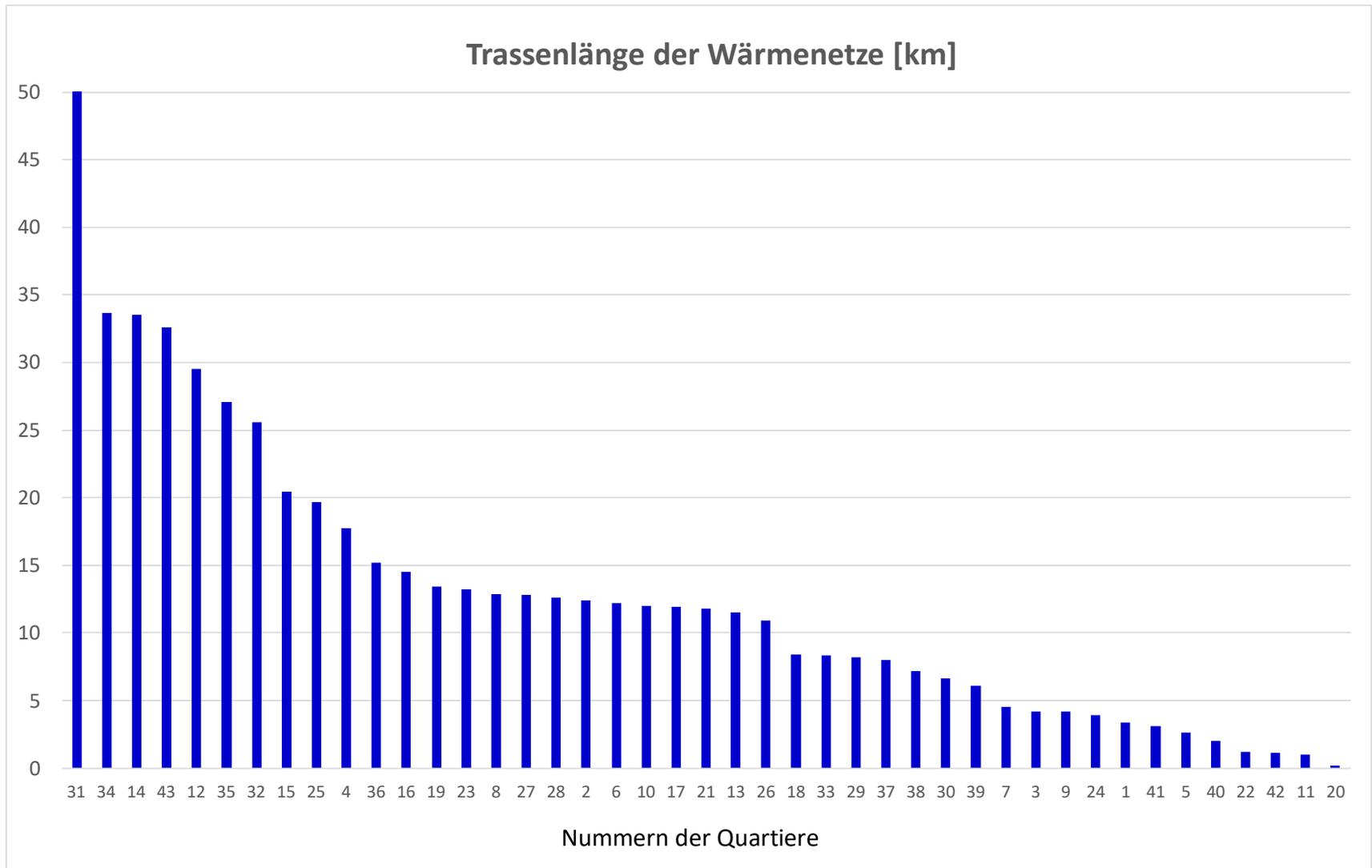
Bewertung der Methode zur Gebietsabgrenzung (2)

- Eigentümerstrukturen: Der „Verbrauchsanteil Eigentümerart nicht privat“ ist bei der Festlegung der Netzeignungsgebiete nicht relevant. Auch WEG haben ein Interesse daran, von kostengünstiger klimaneutraler Fernwärme zu profitieren. Sie dürfen deshalb nicht von vornherein ausgeschlossen werden.
- Anteil Verbrauch erneuerbarer Energieträger: Wenn es längere Zeit dauert, bis in einem Gebiet oder Stadtbezirk ein Wärmenetz aufgebaut wird, kann es durchaus sein, dass abhängig von den lokalen Randbedingungen, bereits zahlreiche dezentrale Wärmepumpen installiert wurden. Dieser Sachverhalt ist ein Hinweis darauf, dass der Aufbau eines lokalen Marktes für gebrauchte fossile Kessel und gebrauchte dezentrale Wärmepumpen ein wichtiger Bestandteil der kommunalen Wärmewende ist. Gibt es diesen Markt, ist das Kriterium bei der Abgrenzung der Netzeignungsgebiete ebenfalls nicht entscheidend.

Zusammenfassende Einschätzung

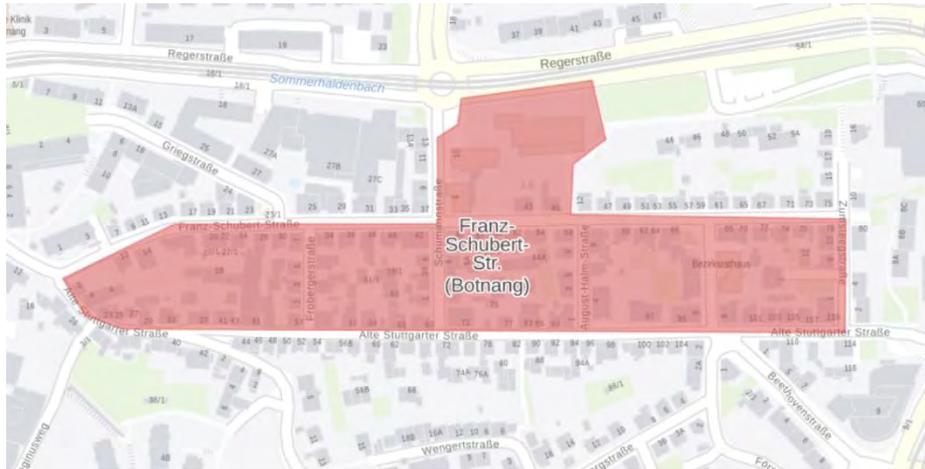
- Sechs der identifizierten Netzeignungsgebiete sind für die Erweiterung der EnBW-Fernwärme vorgesehen. Dies erfolgt entweder direkt oder als Sekundärnetz.
- In weiteren 37 Netzeignungsgebieten sollen gemäß der Planung isolierte Wärmenetzinseln entstehen.
- Zusammen mit den acht bereits bestehenden Inseln gäbe es dann 45 voneinander getrennte Wärmenetze im Stadtgebiet Stuttgart.
- In 30 von 43 neuen Netzgebieten ist der Wärmeverbrauch 2035 geringer als 20 GWh/a.
- **Durch die Vorgehensweise im Kommunalen Wärmeplan Stuttgart werden bei der Abgrenzung der Netzeignungsgebiete große Teile des Stadtgebiets außerhalb der EnBW-Fernwärme, die ebenfalls über ein Wärmenetz versorgt werden könnten, von Beginn an aussortiert!**

Bandbreite der Trassenlängen in den Netzeignungsgebieten



Vergleich zu den Trassenlängen in den Quartierssteckbriefen

Quartier: Botnang – Franz-Schubert-Straße



IQK Botnang (2016) – KfW 432 (Quelle: s. Anhang)

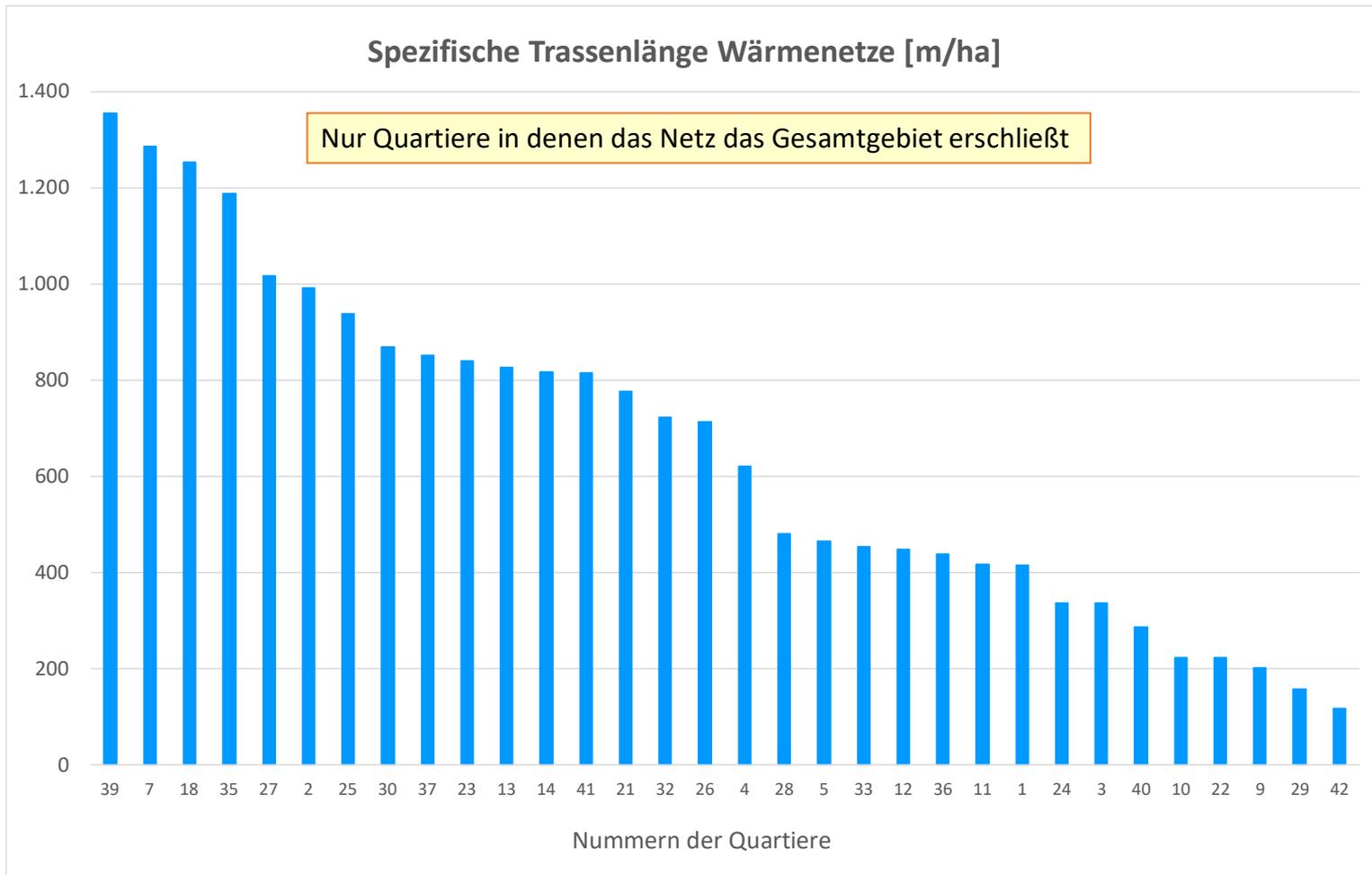


	Q-Steckbrief Botnang	IQK Botnang
Flurstückfläche/Arealfäche	3,5 ha	ca. 12-13 ha
Trassenlänge Wärmenetz	4,5 km	6,0 km
Wärmebedarf heute/2016	3.600 MWh/a	12.800 MWh/a

Bewertung der Trassenlängen in den Quartierssteckbriefen

- Die Trassierung für das Wärmenetz im IQK Botnang wurde mit einem GIS-basierten Routingverfahren durchgeführt, das zu einer minimierten Trassenlänge führt.
- Die im IQK Botnang berechnete Trassenlänge kommt deshalb der Trassenlänge eines gebauten Netzes schon weitgehend nahe.
- Die Netztrasse im Quartier Franz-Schubert-Straße ist bezogen auf die Gebietsgröße mindestens 50 % länger als die Trasse für das Netz im IQK Botnang.
- Weitere Auswertungen lassen den Schluss zu, dass die Trassenlängen in anderen Quartieren in zahlreichen Fällen ebenfalls zu große Werte aufweisen (siehe Diagramme auf den Folien 32 und 37).

Trassenlänge bezogen auf die Flurstückfläche

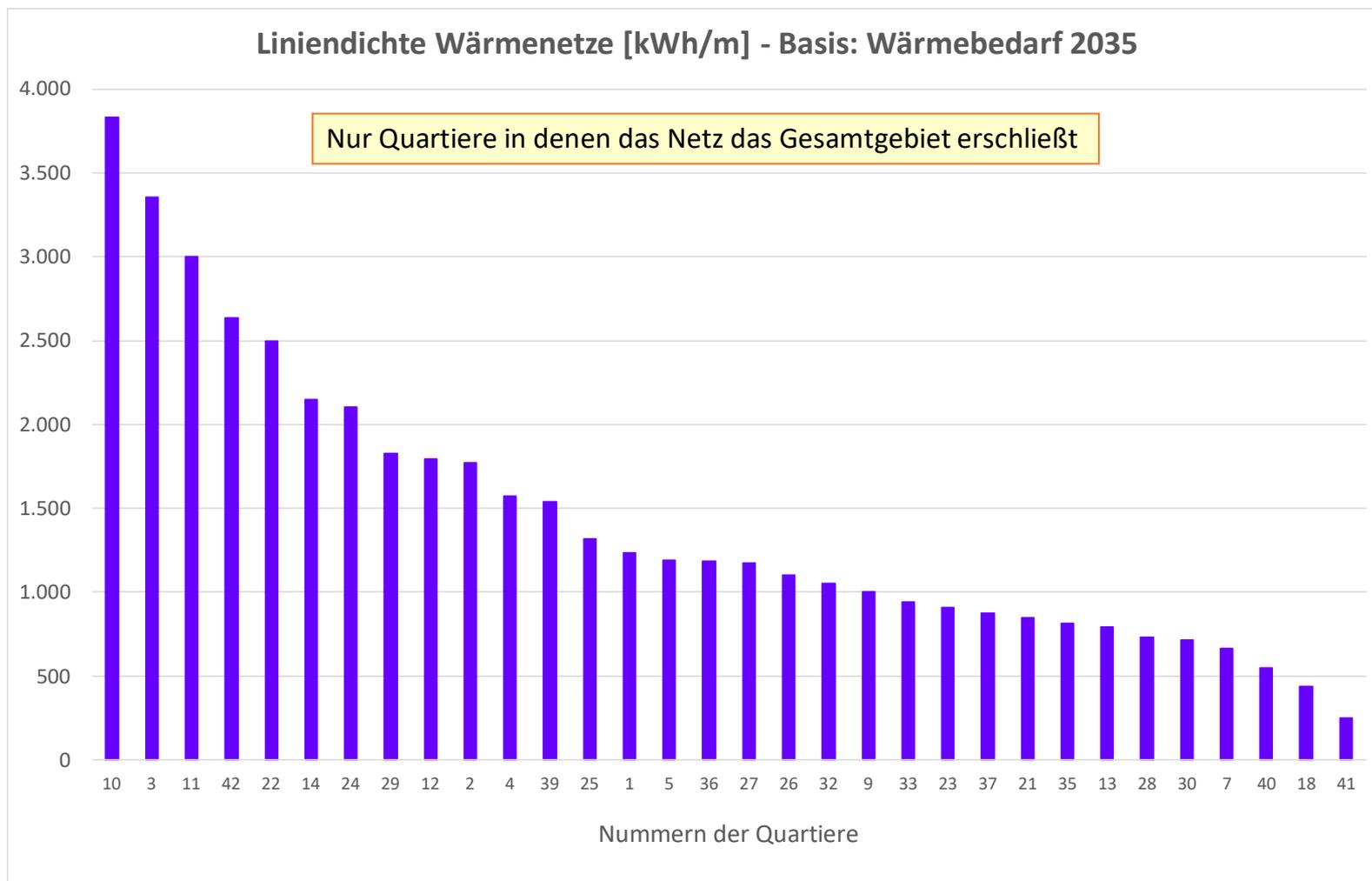


Die spezifischen Trassenlängen in den Quartieren des KWP streuen in einem sehr weiten Bereich (ca. Faktor 10)

Schlussfolgerungen zu den Trassenlängen

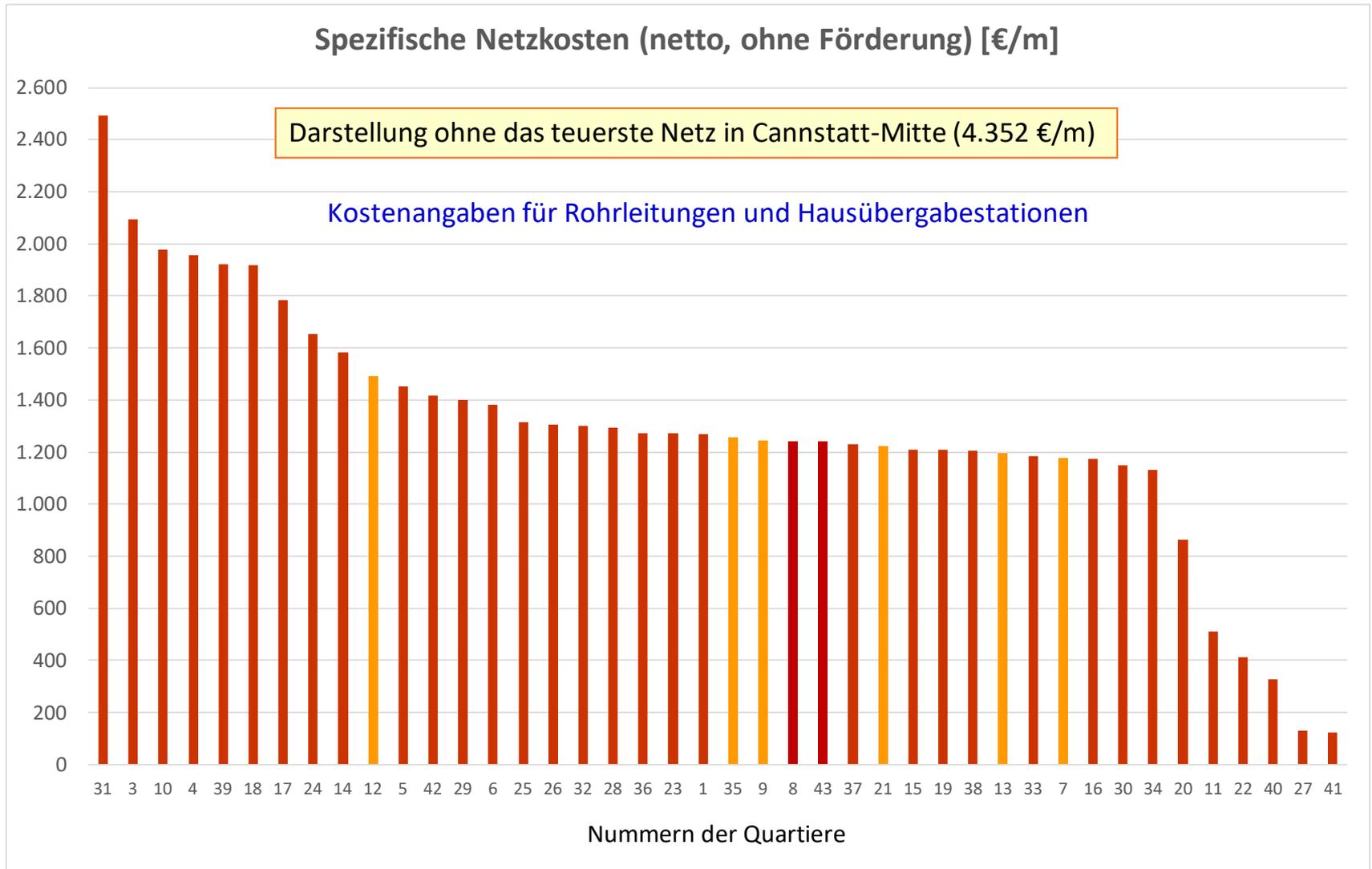
- Das Verfahren zur Bestimmung der Trassenlängen ist im Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023 auf S. 75 beschrieben.
- Die im KWP angenommene mittlere Hausanschlusslänge von 10 m stimmt sehr gut mit den Ergebnissen des Projekts ANSWER-Kommunal überein (siehe Ergebnisbericht S. 128 ff.)
- Die zu hoch abgeschätzten Gesamtrassenlängen sind demzufolge auf die Trassenlängen der Hauptleitungen zurückzuführen.
- Da die während der Phase der Wärmeplanung ermittelte Trassenlängen in entscheidendem Maße die Wärmeverteilungskosten der Wärmenetze bestimmen, ist die zur Längenberechnung angewandte Methode und deren Fehleranfälligkeit für die Abgrenzung der Netzeignungsgebiete von großer Bedeutung.

Bandbreite der Liniendichte der neuen Wärmenetze im KWP

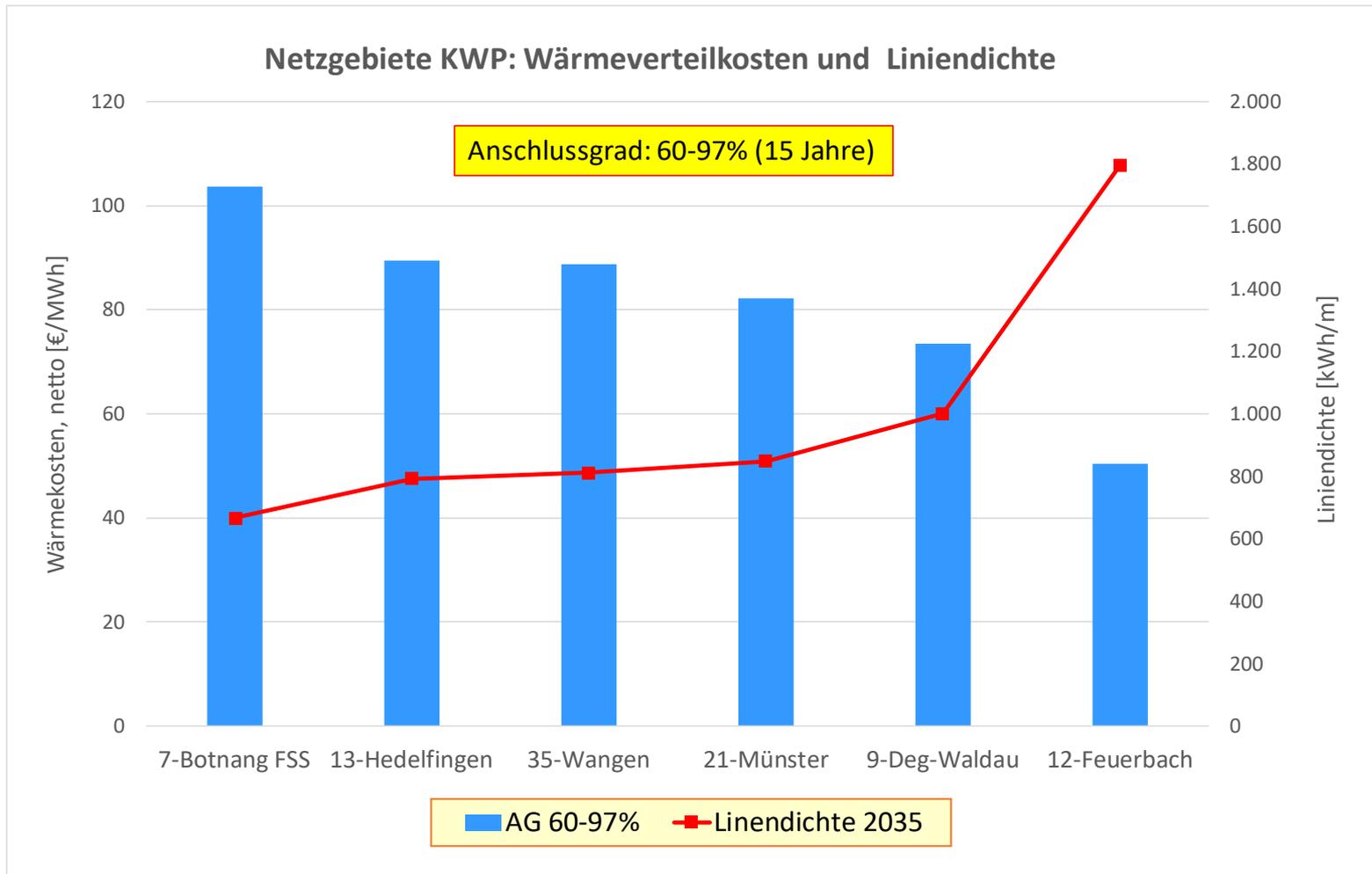


12 Wärmenetze (37,5 %) weisen eine Liniendichte von weniger als 1.000 kWh/m auf

Kosten der Netze pro Trassenmeter im KWP Stuttgart



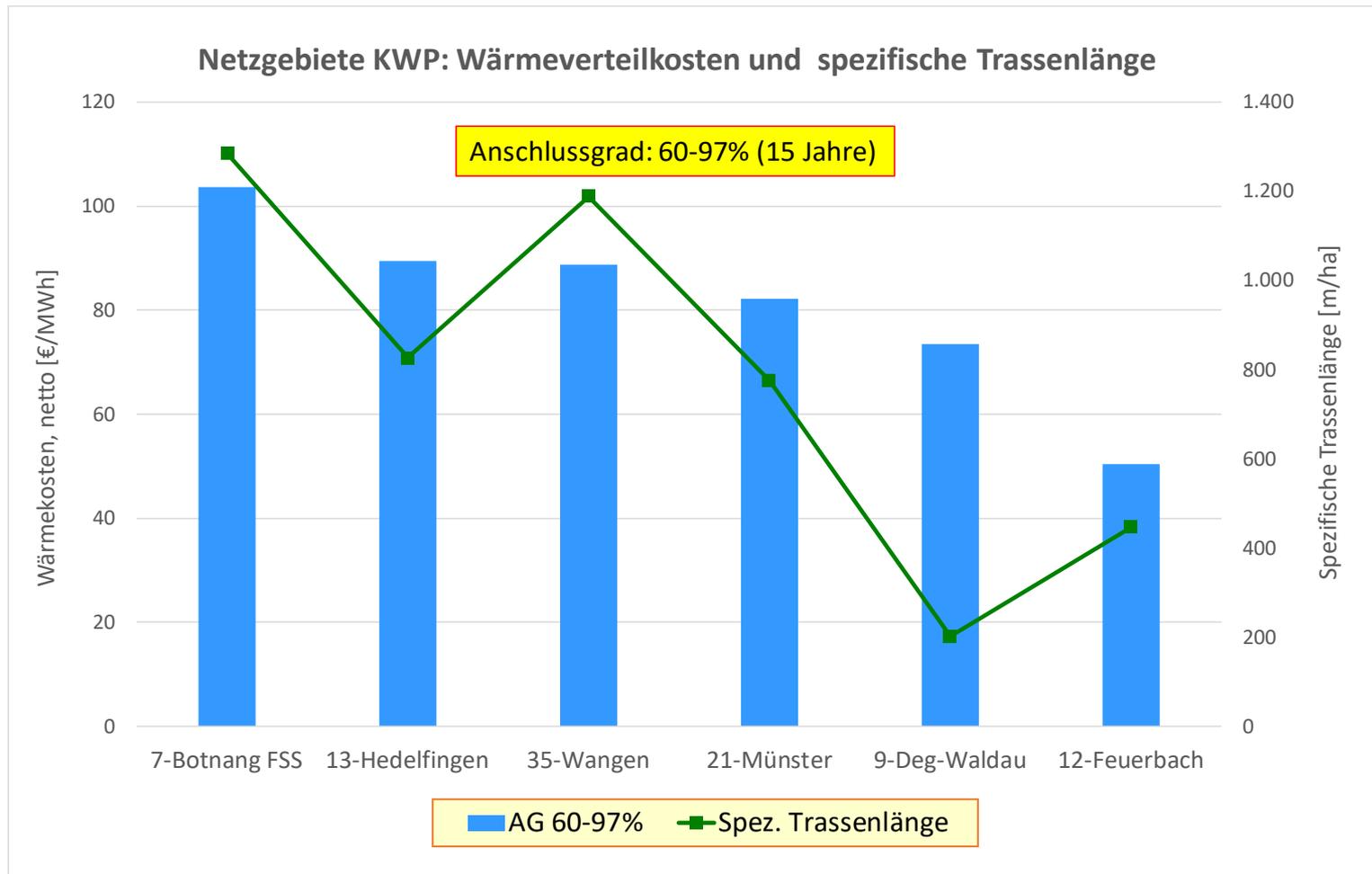
Wärmeverteilungskosten für ausgesuchte Quartiere (1)



Randbedingungen: siehe Anhang Folie 135

Die Wärmeverteilungskosten sinken proportional zum Anstieg der Liniendichte

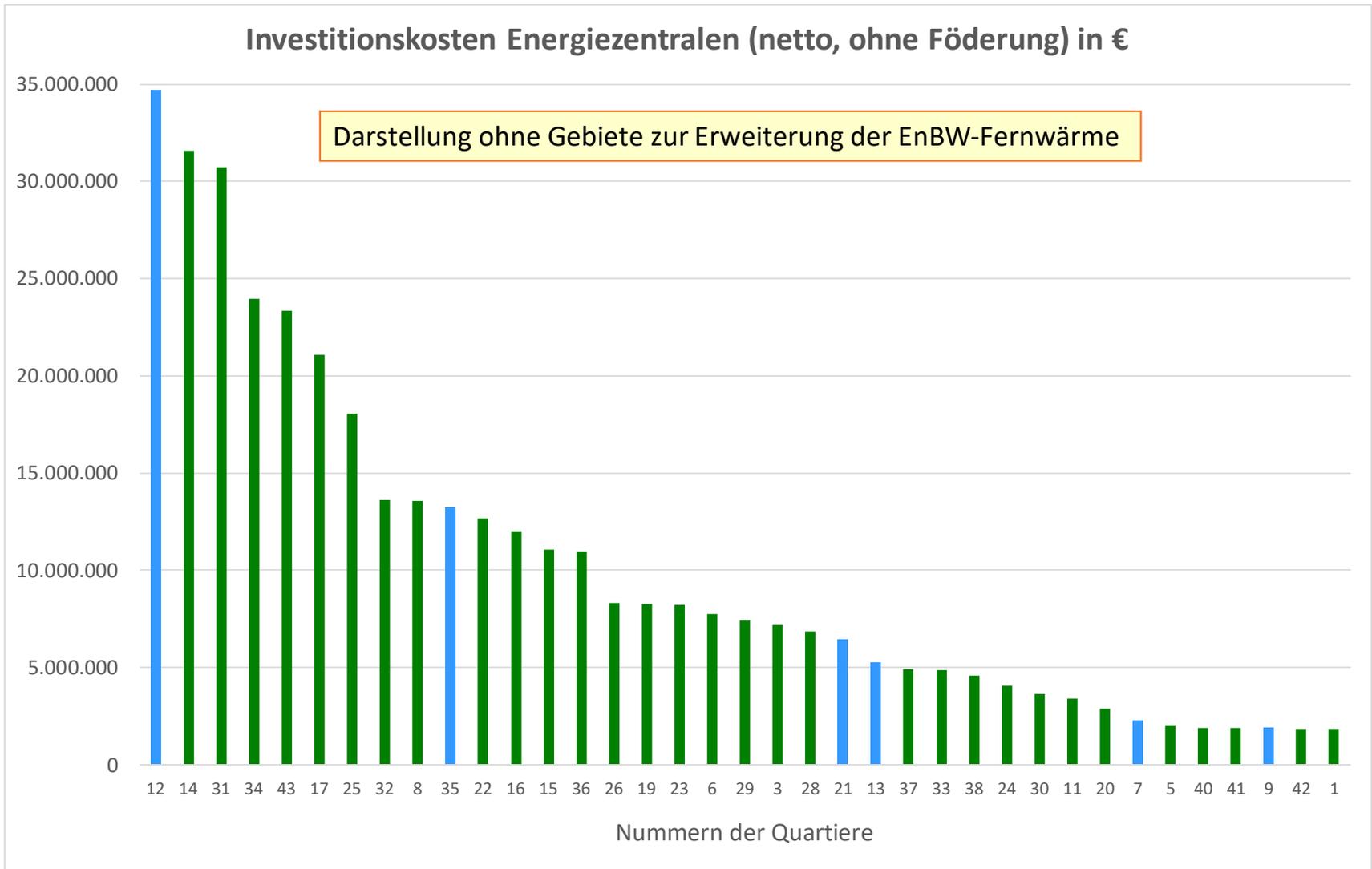
Wärmeverteilungskosten für ausgesuchte Quartiere (2)



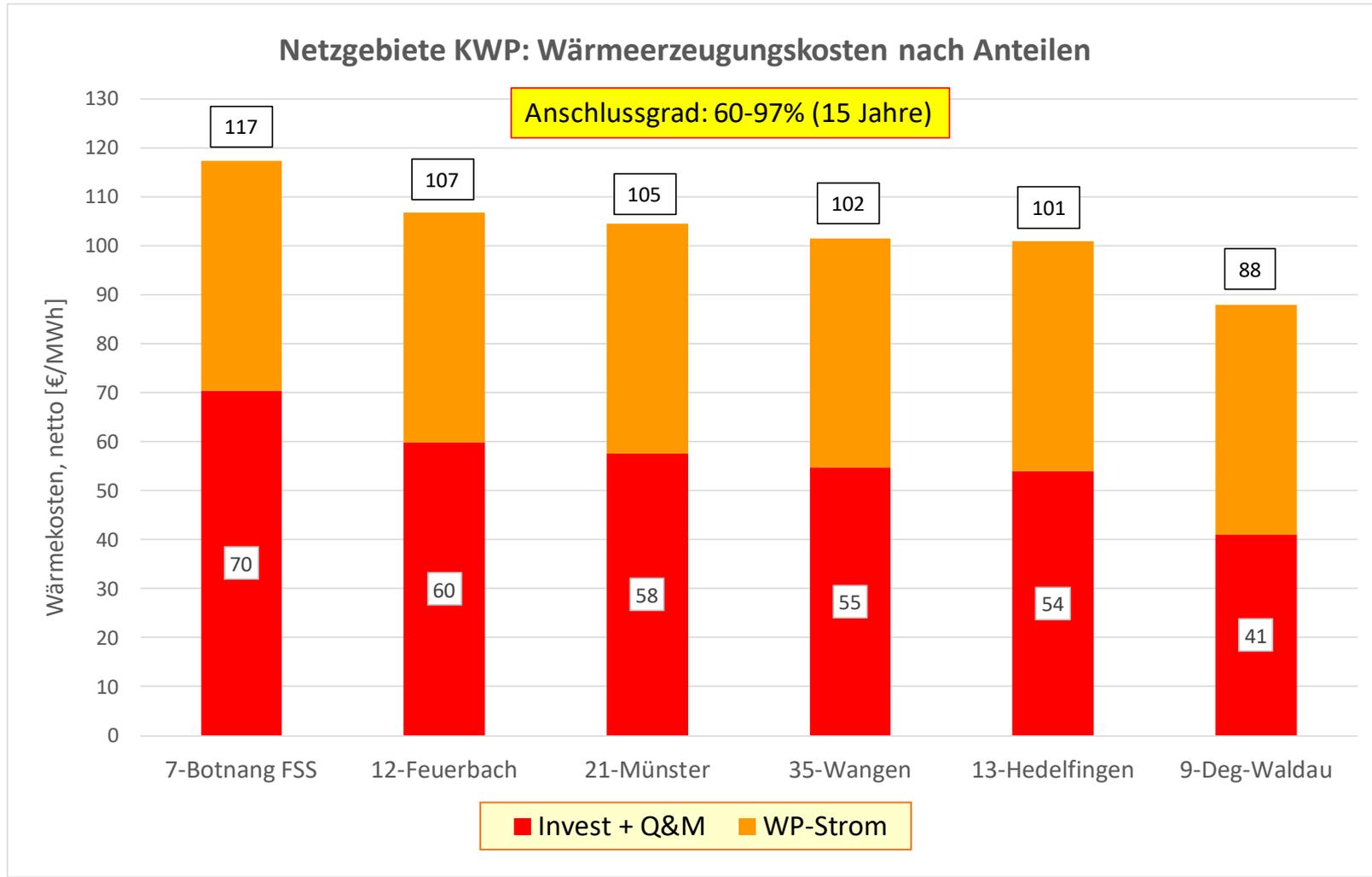
Randbedingungen: siehe Anhang Folie 135

In vier Fällen haben hohe spezifische Trassenlängen hohe Wärmeverteilungskosten zur Folge. Eine Ausnahme bildet das Gebiet Degerloch-Waldau

Investitionskosten der Energiezentralen



Wärmeerzeugungskosten für ausgesuchte Quartiere

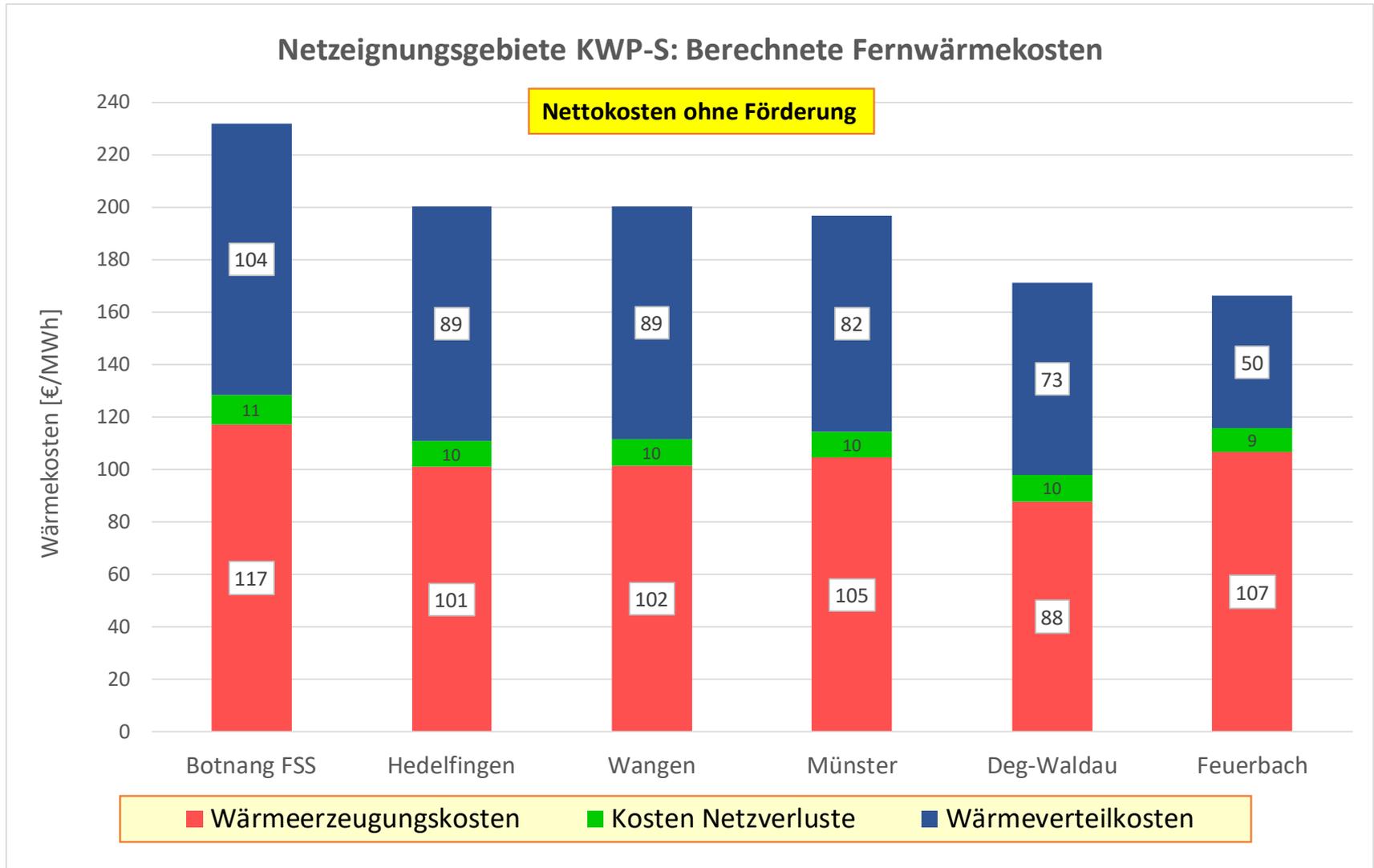


Randbedingungen für die Berechnung: siehe Anhang Folie 136

Erläuterung zu den Wärmeerzeugungskosten

- Die Berechnung der Wärmeerzeugungskosten erfolgt unter der Annahme, dass 100 % der Wärme durch die Wärmepumpe(n) erzeugt wird.
- Deshalb fließen die laufenden Kosten für die Spitzenlasterzeugung mit Elektrokessel, dessen Strombedarf aus der Jahresarbeitszahl von 1,0 resultiert, nicht mit ein.
- Die Kosten für die Netzverluste bleiben bei der Wärmeerzeugung unberücksichtigt und werden getrennt betrachtet (Folie 41).

Fernwärmekosten für ausgesuchte Quartiere im KWP



Kommentierung der Fernwärmekosten für neue Netze

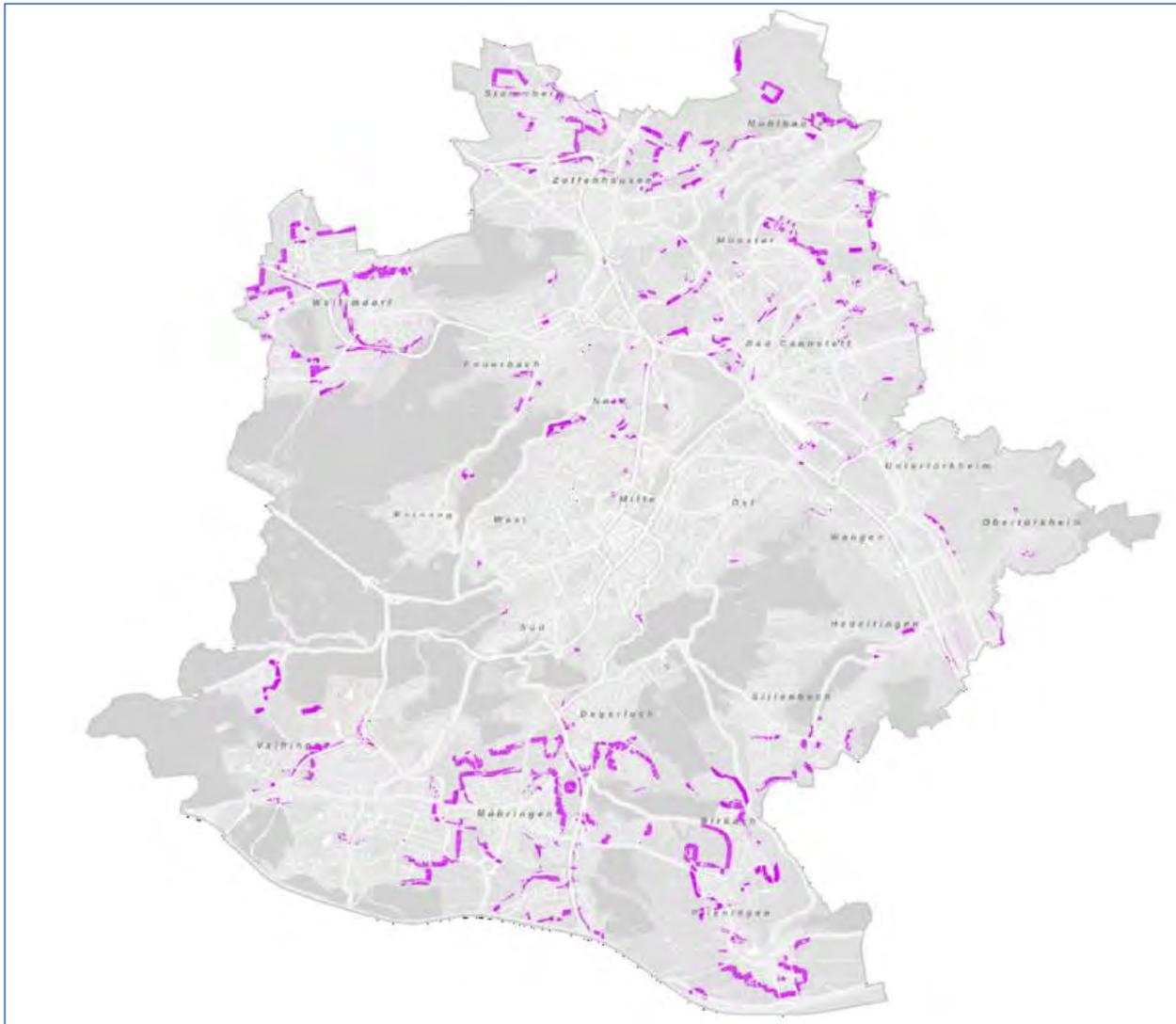
- Die höchsten Fernwärmekosten mit 232 €/MWh weist das Quartier Botnang Franz-Schubert-Straße auf.
- In drei weiteren Quartieren (Hedelfingen, Wangen, Münster) betragen die Fernwärmekosten 200 €/MWh oder knapp darunter.
- Die kostengünstigste Wärme ist im Quartier Feuerbach zu erwarten. Die berechneten Kosten betragen 166 €/MWh.
- Feuerbach weist die bei weitem geringsten Wärmeverteilkosten auf, was im Vergleich zu anderen Quartieren auf eine geringere Trassenlänge in Relation zur Gebietsgröße hinweist.
- Die Wärmeerzeugungskosten liegen in Feuerbach dagegen jedoch auf dem zweithöchsten Wert.
- In dem relativ kleinen Quartier Degerloch-Waldau, das durch große Abstände zwischen den Gebäuden geprägt ist, sind die Wärmekosten mit 171 €/MWh nur geringfügig höher als in Feuerbach.

Anmerkungen zur Berechnung der Fernwärmekosten

- Die Karten der Netzeignungsgebiete für die neuen Wärmenetze sind so gezeichnet, dass am Rand des Quartiers sehr häufig nur eine Straßenseite einbezogen wurde, während die Häuser der gegenüberliegenden Straßenseite außerhalb der Farbmarkierung liegen.
- Im Bericht ist an entsprechender Stelle jedoch vermerkt, dass die außen liegenden Gebäude auch zum Wärmenetzgebiet gehören.
- In den Quartierssteckbriefen werden Wärmeverbrauchswerte und Trassenlängen angegeben. Es ist jedoch nicht nachvollziehbar, ob sich Wärmeverbrauch und Trassenlänge auf die kleinere Fläche gemäß der Quartierskarten oder auf das größere Areal einschließlich der anderen Straßenseite außerhalb beziehen.
- Der Wärmeverbrauch in den Steckbriefen ist zudem als Endenergie angegeben. Da nichts anderes vorlag, wurden die Fernwärmekosten auf Endenergie bezogen. Würde, so wie üblich, mit Nutzenergie als Bezugsgröße gerechnet, lägen die Kostenwerte etwas höher.

Potenzialermittlung: Erneuerbare Energien, Abwärme

Freiflächen-Solarthermie: Karte der greeninventory GmbH



Quelle: Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 40

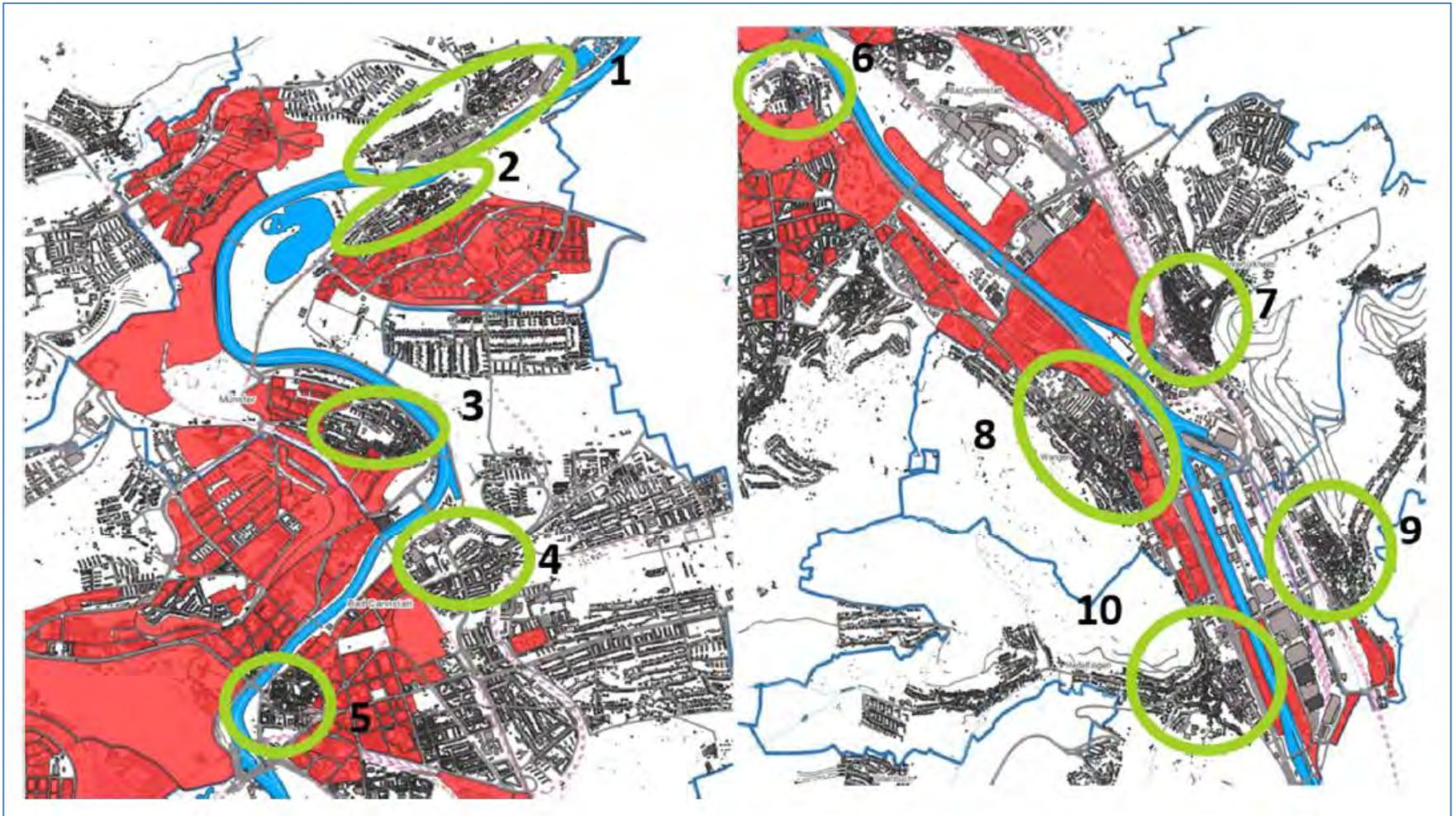
Potenzial der Freiflächen-Solarthermie

- Ergebnisse der Potenzialuntersuchung von greenventory GmbH:
Installierbare Leistung: $1,9 \text{ GW}_{\text{th}}$
Solarer Energieertrag: 2.300 GWh/a
- Fazit: Mit Solarthermie könnte demnach mehr als die Hälfte des Wärmeverbrauchs im Jahr 2035 gedeckt werden.
- In den Quartiersteckbriefen für die neuen Wärmenetze wird das Potenzial der Freiflächen-Solarthermie jedoch nicht berücksichtigt!
- Die Begründungen dazu im Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023:
 - ✓ „Aufgrund der großen Diskrepanz zwischen Wärmeverbrauch und -nachfrage ist bei der Solarthermie immer ein redundanter Erzeuger oder saisonaler Speicher erforderlich, wodurch die benötigten Investitionskosten deutlich erhöht sind“ (S. 39)
 - ✓ Der Bau von Freiflächenanlagen ist genehmigungstechnisch sehr herausfordernd, z. B. wegen Klimatologie, Bodenschutz, Naturschutz (S. 39)

Freiflächen-ST: Einschätzung zu den Begründungen

- Anlagen zur Wärmeerzeugung für Wärmenetze mit erneuerbaren Energien und Abwärme werden in Zukunft immer multivalent aufgebaut sein.
- Eine mögliche Zusammensetzung könnte sein: Groß-Wärmepumpe, Freiland-Solarthermie und Abwärme (direkt oder über WP), Elektro-Spitzenkessel und thermischer Speicher.
- Die Solarthermie wird nie alleine zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden, wie z. B. die zahlreichen Projekte in Dänemark zeigen.
- Bei optimaler Auslegung können mit diesen multivalenten Systemen günstige Wärmeerzeugungskosten realisiert werden. Eine entscheidende Rolle spielt dabei die Kapazität und die Betriebsweise des thermischen Speichers.
- Dass sich eine Freiflächenanlage ungünstig auf das lokale Klima auswirken soll, ist nicht nachvollziehbar. Die Auswirkungen auf den Boden und die umgebende Natur sind zudem gering bzw. vernachlässigbar.

Potenzialermittlung zur Flusswasserwärme aus dem Neckar

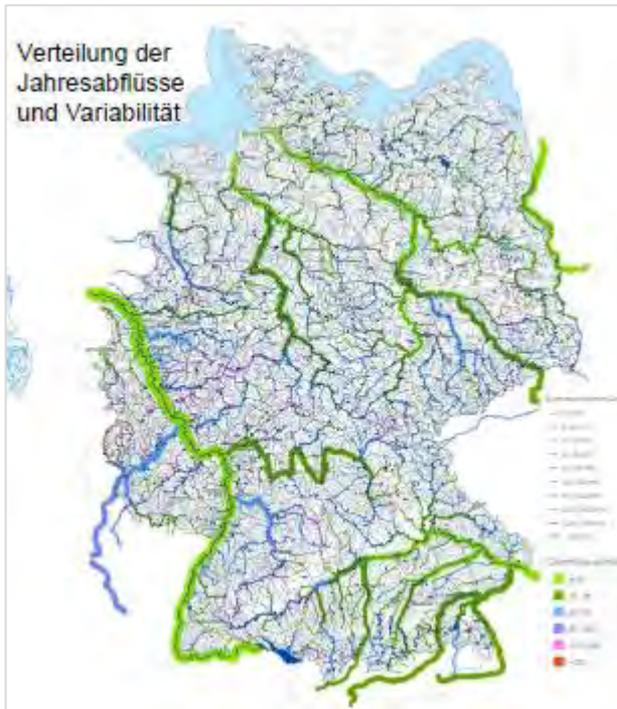


Quelle: Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 53

Potenzialermittlung Neckarwärme

- Die 10 Quartiere auf Folie 48 weisen im Jahr 2035 einen Wärmeverbrauch von rund 143 GWh/a auf.
- Das Neckarwasser würde durch die Versorgung der 10 Gebiete zwischen 0,3 K und 0,5 K abgekühlt. Da jedoch eine Abkühlung von 3 K zulässig ist, ist das Gesamtpotenzial um den Faktor sechs bis zehnmal höher (850 GWh bis 1.400 GWh).
- Im Kommunalen Wärmeplan sind lediglich fünf Quartiere zur Nutzung von Flusswasserwärme vorgesehen: Hedelfingen, Wangen, Untertürkheim, Hofen und Münster. Der Wärmeverbrauch dieser fünf Quartiere beträgt 2035 insgesamt nur 72 GWh/a.
- Das Potenzial der Flusswasserwärme wird damit nur zu einem sehr geringen Teil ausgenutzt!
- Die 20 MW-Flusswasser-WP der EnBW in Mühlhausen nutzt den Abfluss des Kühlwasserkanals des Müllheizkraftwerks als primäre Wärmequelle und nicht den Neckar selbst.

EE-Potenziale – Flusswasserwärme aus dem Neckar

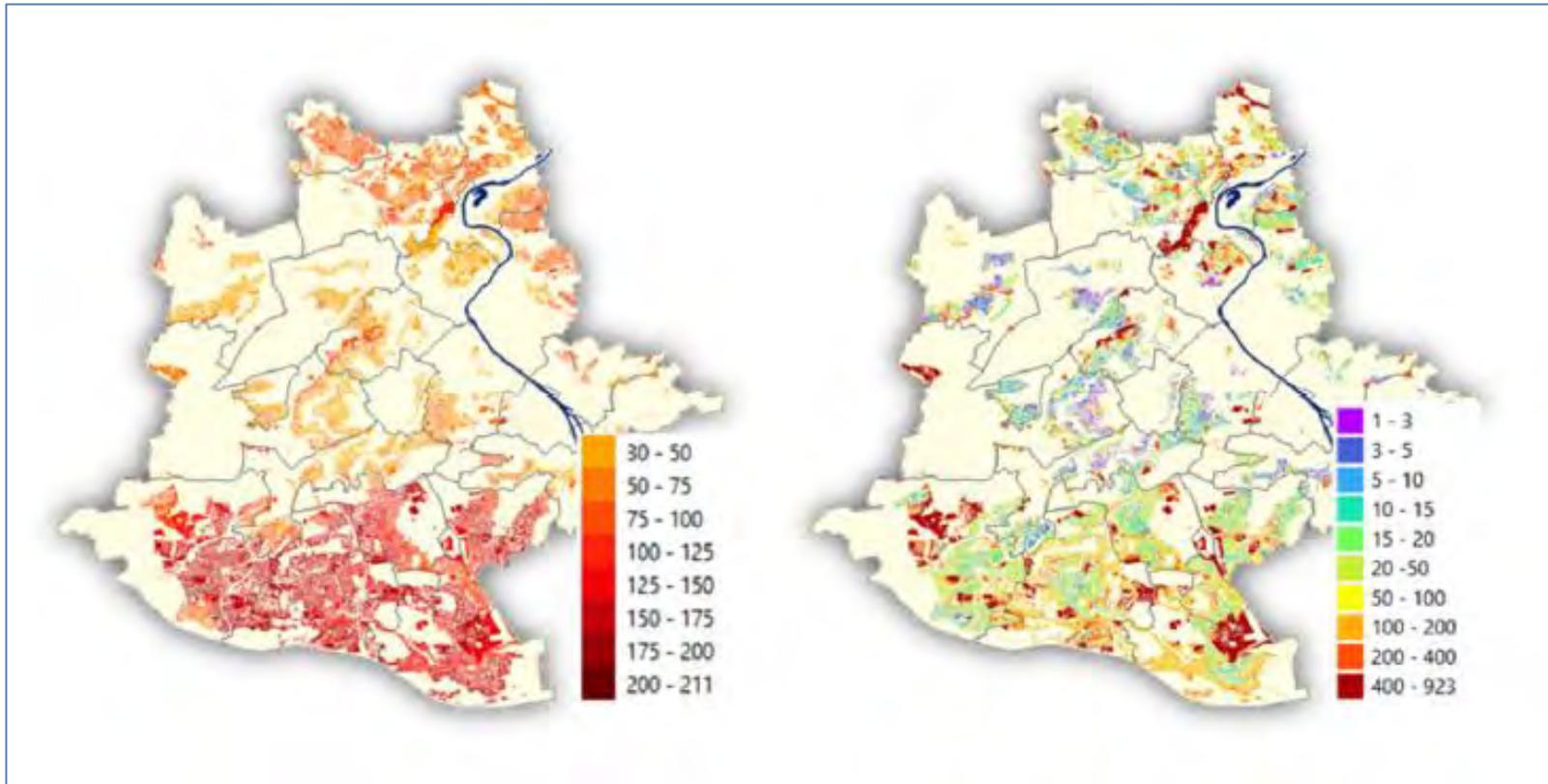


Stadt	Einwohner	Fließgewässer	Wärmeleistung [MW]	Wärme-erzeugung [MWh]
Berlin	3.677.472	Spree, Havel, Panke, Dahme	815	4.148.243
Hamburg	1.853.935	Elbe	7.220	36.733.243
München	1.487.708	Isar	631	3.209.907
Köln	1.073.096	Rhein	19.469	99.060.714
Frankfurt a.M.	759.224	Main	2.106	10.713.863
Stuttgart	626.275	Neckar	545	2.773.127
Düsseldorf	619.477	Rhein	19.887	101.186.481
Leipzig	601.866	Weißer Elster, Pleiße, Parthe	250	1.272.144
Dortmund	586.852	Ruhr, Emscher	763	3.881.649
Essen	579.432	Ruhr, Emscher	829	4.217.521
Bremen	563.290	Weser	3.568	18.154.045
Dresden	555.351	Elbe	3.317	16.878.585
Hannover	535.932	Leine, Ihme	553	2.814.515
Nürnberg	510.632	Pegnitz	111	565.454
Duisburg	495.152	Rhein	19.887	101.186.481

Quelle: Seidel, C.; Ostermann, L.; Wüchner, R.: Grüne Nah- und Fernwärme aus Fließgewässern; Technische Universität Braunschweig, Insitut für Statik und Dynamik, isd@tu-braunschweig.de

Die Studie der TU Braunschweig kommt zu dem Schluss, dass in Stuttgart sogar mehr als 2.700 GWh/a Wärme aus dem Neckar gewonnen werden könnte. Grob gerechnet sind das ebenfalls mehr als 50 % des zukünftigen Wärmeverbrauchs der Stadt

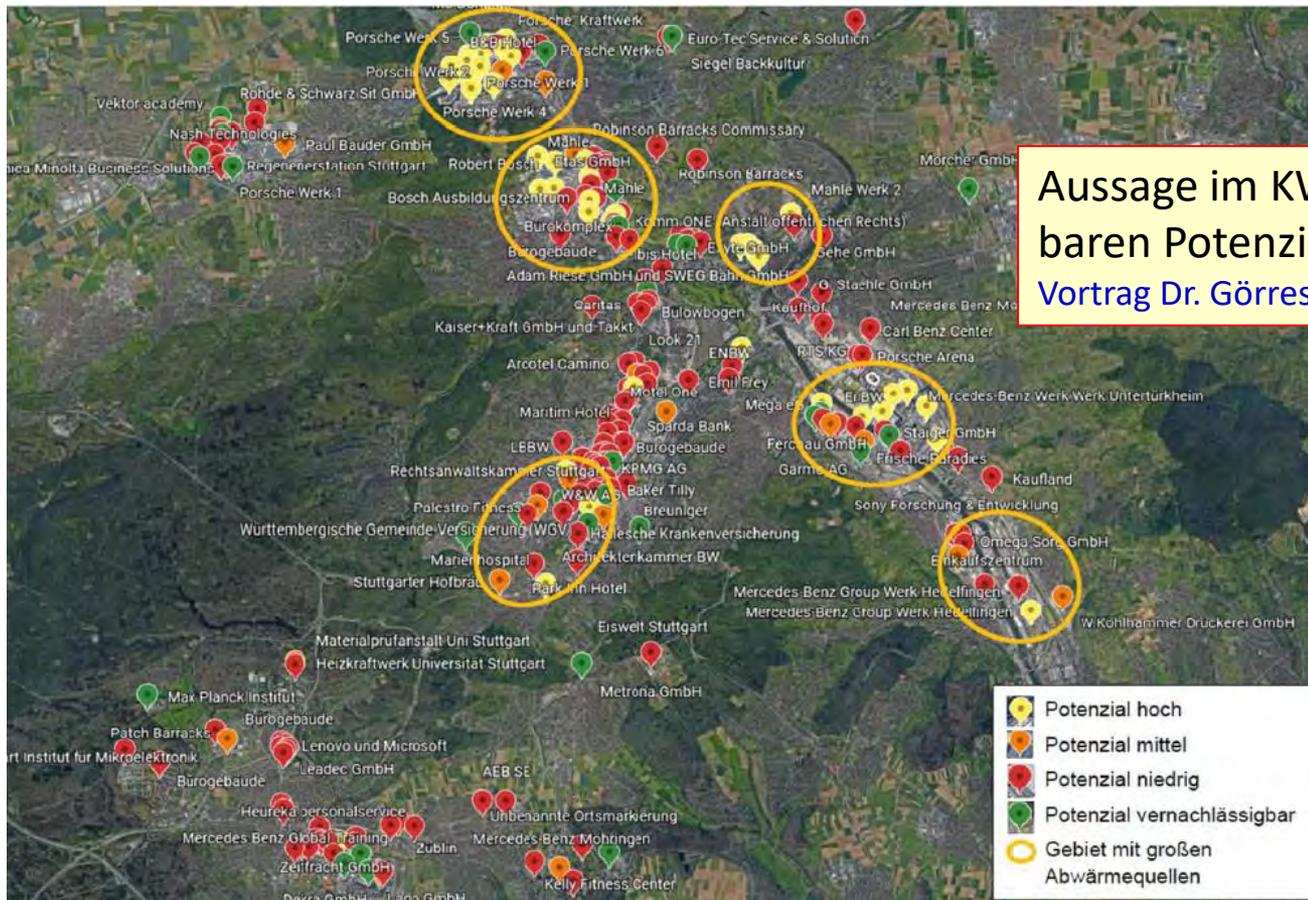
EE-Potenziale – Oberflächennahe Geothermie (Erdsonden)



Quelle: Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 43

Auf den Karten werden Bohrtiefen in Meter (links) und Entzugsleistungen in Kilowatt angegeben (rechts). Es erfolgt jedoch keine Umrechnung in nutzbare Wärmemengen!

Abwärme aus Industriebetrieben

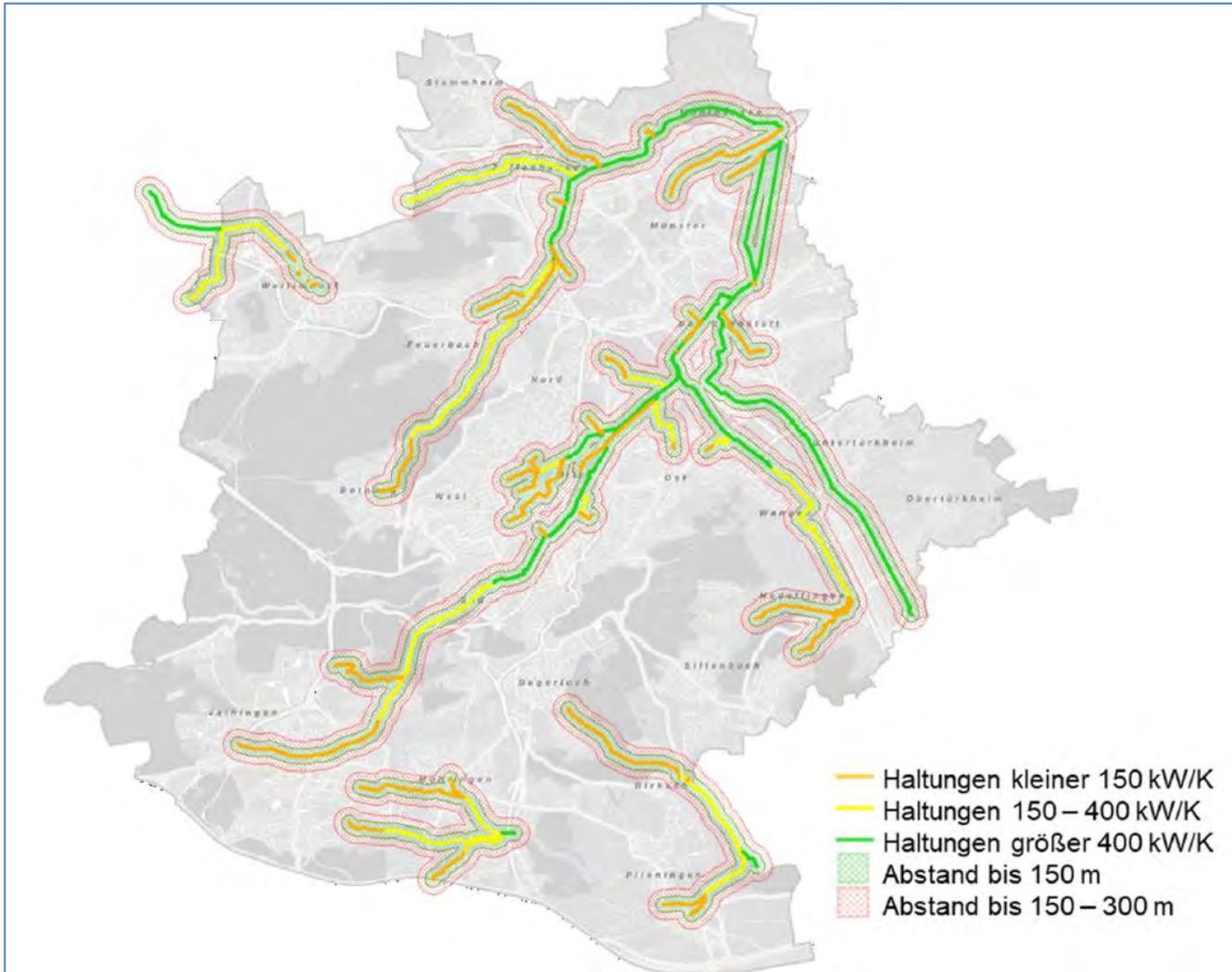


Aussage im KWP: Nahezu keine nutzbaren Potenziale vorhanden!
Vortrag Dr. Görres im AKU am 29.9.2023; Folie 11

Quelle: Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 49

Die Möglichkeit, dass auch nach betriebsinterner Verwertung von Abwärme immer noch Restwärme auf einem niedrigeren Temperaturniveau mit Hilfe einer Großwärmepumpe genutzt werden könnte, wird im Kommunalen Wärmeplan nicht berücksichtigt!

Abwärme aus Abwasserkanälen



Als Ergebnis wird eine Karte mit spezifischen Entzugsleistungen aus den Kanälen dargestellt. Eine Übertragung dieser Zahlen in nutzbare Wärmemengen erfolgt jedoch nicht!

Quelle: Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 46

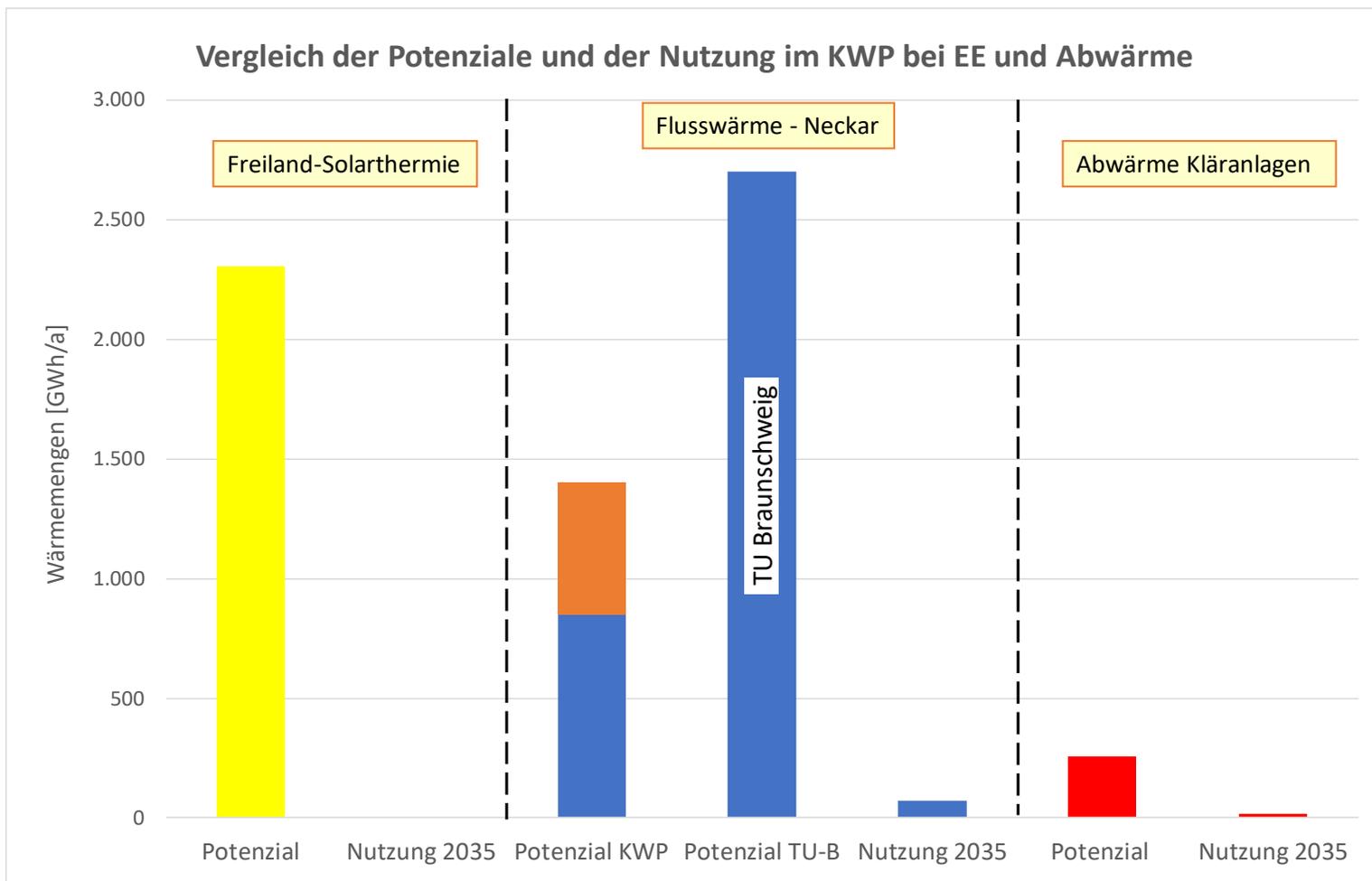
Nutzung von Abwärme aus Kläranlagen

- Zum Abwärmepotenzial, das aus den drei Kläranlagen auf Stuttgarter Gemarkung (Mühlhausen, Möhringen, Plieningen) mit Hilfe von Großwärmepumpen gewonnen werden könnte, werden im Kommunalen Wärmeplan keine Zahlen genannt (Bericht S. 47).
- In der folgenden Tabelle wird deshalb auf eine Untersuchung der Initiative 70599 Lebenswert aus Plieningen Bezug genommen.

Klärwerk	Leistung	Wärmemenge
Mühlhausen	27 MW _{th}	206 GWh/a
Möhringen	3,4 MW _{th}	27 GWh/a
Plieningen	2,8 MW _{th}	22 GWh/a
Summe	33,2 MW_{th}	255 GWh/a

Quelle: „Wärme aus Kläranlagen“. Ausarbeitung der Initiative 70599 Lebenswert, Januar 2024.

Freiland-Solarthermie, Flusswasserwärme und Klärwerke



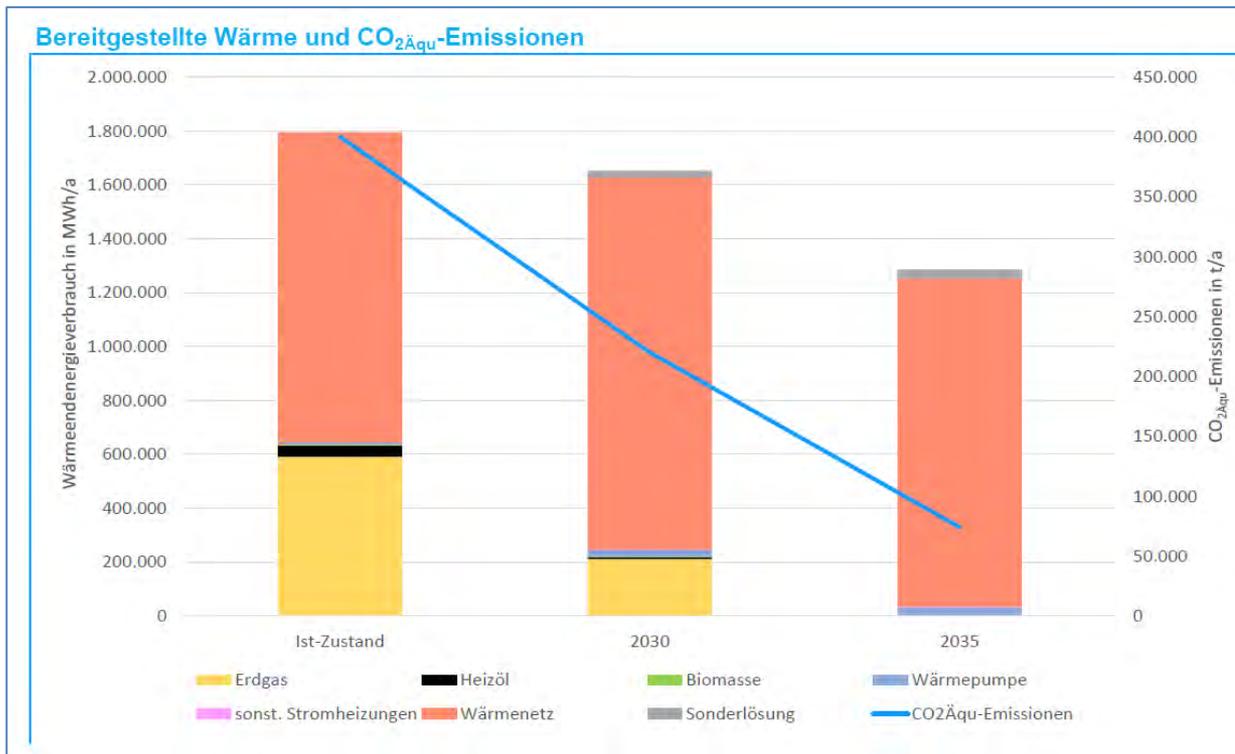
Ein entsprechender Vergleich bei oberflächennaher Geothermie und bei Abwärme aus Abwasser war nicht möglich, da die Potenziale nicht quantifiziert wurden

Zwischenfazit zu Potenzialermittlung und Nutzung im KWP

- Im Leitfaden kommunale Wärmeplanung für BW heißt es zum Thema Potenzialermittlung, dass konsequent alle technischen Potenziale bestimmt werden (S. 36).
- Im Kommunalen Wärmeplan 2023 für Stuttgart ist dies jedoch nicht entsprechend umgesetzt worden.
- Bei der oberflächennahen Geothermie und bei der Abwärme aus Abwasserkanälen werden zwar Potenzialkarten dargestellt, aber keine nutzbaren Wärmemengen daraus abgeleitet.
- Für die Freiland-Solarthermie wird zwar ein sehr großes Potenzial ausgewiesen, der Wärmeplan sieht jedoch keinerlei Nutzung dieser kostengünstigen Wärmequelle vor.
- Die Nutzung des sehr großen Potenzials der Flusswasserwärme bewegt sich lediglich im einstelligen Prozentbereich. Ähnliches gilt für die Abwärme aus Kläranlagen.
- Industrielle Abwärme spielt als Wärmequelle praktisch keine Rolle.

Entwicklung der EnBW-Fernwärme und weiterer bestehender Netze

EnBW-Fernwärme – Quartierssteckbrief und Ramboll-Studie



**Endenergieverbrauch 2023
im Fernwärmegebiet:
1.790 GWh/a**

**Davon werden mehr als
1.100 GWh aus Fernwärme
Bereitgestellt (64 %)**

**Endenergieverbrauch 2035
im Fernwärmegebiet:
1.280 GWh/a**

**Davon mehr als 95% durch
Fernwärme gedeckt**

Quelle: Quartierssteckbrief Fernwärme (S. 3)

Zahlen aus der Ramboll-Studie (Nutzenergie statt Endenergie):

- Wärmeverbrauch im Fernwärmegebiet: 1.548 GWh/a
- Davon Bereitstellung als Fernwärme: 664 GWh/a (43 % statt wie oben 64 %)
- Wärmeverbrauch im FW-Gebiet 2035: 774 GWh/a

Einschätzung zur EnBW-Fernwärme (1)

- Unabhängig von den nicht übereinstimmenden Zahlen über den aktuellen Anteil der Fernwärme im EnBW-Gebiet, ist die im Bericht „Kommunale Wärmeplanung 2023“ genannte Zielsetzung, den Anschlussgrad des Fernwärmenetzes auf 100 % zu erhöhen, auf jeden Fall richtig.
- Allerdings betragen die Treibhausgasemissionen im Jahr 2035 immer noch 74.000 t/a. Sie gehen somit nur um knapp 82 % gegenüber dem heutigen Wert (400.000 t/a) zurück.
- Dies widerspricht der Aussage, dass die EnBW bis 2035 durch den Einsatz von grünem Wasserstoff in ihren Kraftwerken klimaneutral sein möchte (Bericht S. 27 und 55).
- Im Quartierssteckbrief Fernwärme heißt es dazu allerdings: „Da es sich hier um ein nicht von der Stadt Stuttgart oder deren Töchtern betriebenes Netz handelt, ist hier keine direkte Einflussnahme auf den Erzeugerpark möglich“.

Einschätzung zur EnBW-Fernwärme (2)

- Die Stadt Stuttgart geht in ihrem Kommunalen Wärmeplan davon aus, dass die EnBW-Fernwärme bis 2035 klimaneutral wird. Ob das von der EnBW auch so umgesetzt wird, ist nicht gewährleistet. Es liegt auf jeden Fall nicht in der Verantwortlichkeit der Stadt.
- Dasselbe gilt für die Erhöhung des Anschlussgrades auf 100 %. Dies wird im Wärmeplan zwar richtigerweise als Ziel definiert, unklar ist jedoch, ob die EnBW die notwendigen Maßnahmen ergreifen wird, um dieses Ziel zu erreichen.
- Die Darstellungen im Bericht und im Quartierssteckbrief zur EnBW-Fernwärme lassen den Schluss zu, dass der Betrieb des Fernwärmenetzes auch in Zukunft vollkommen isoliert und getrennt von den neuen Wärmenetzen in Stuttgart erfolgen soll.

Übrige bestehende Wärmenetze (1)

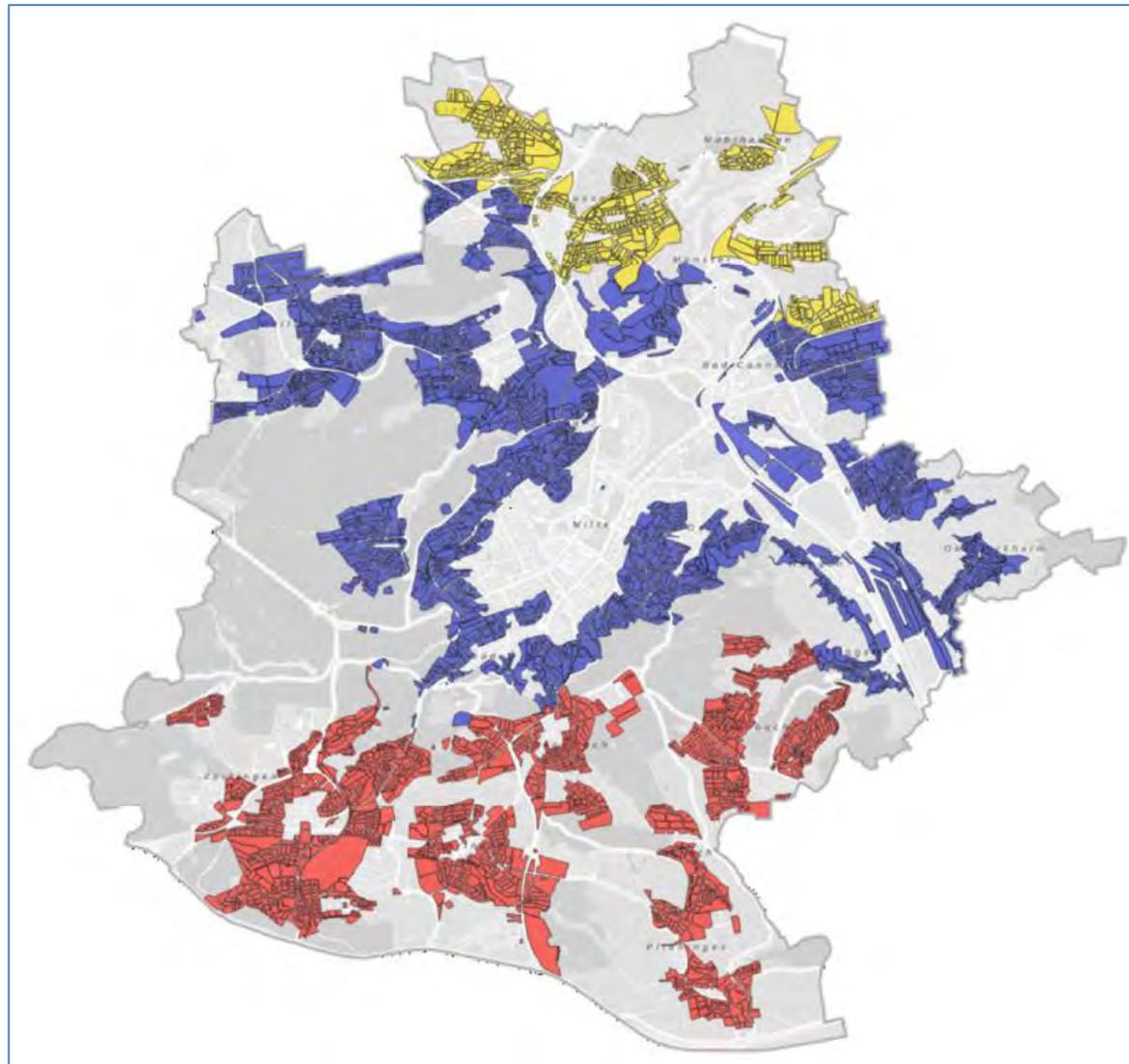
- Eigentumsverhältnisse bei den acht weiteren Bestandsnetzen:
 - ✓ Universitäten Hohenheim und Vaihingen: Land Baden-Württemberg (in Vaihingen mit einem Anteil von 64 %)
 - ✓ Patch-Barracks und Kelly-Barracks: US-Army
 - ✓ Bosch- und Porsche-Areal: die Firmen Bosch und Porsche
 - ✓ Burgholzhof: Gemischt; größter Anteil liegt bei einer WEG; Betrieb durch einen Contractor
 - ✓ Asemwald: Wohnungseigentümergeinschaft
- Bei allen Netzen wird davon ausgegangen, dass sie 2035 klimaneutral sind, teilweise sogar noch zu einem früheren Zeitpunkt
- Ob die Eigentümer der bestehenden Netze tatsächlich die erforderlichen Maßnahmen zum Erreichen der Klimaneutralität ergreifen, kann den Quartierssteckbriefen nicht entnommen werden.
- Eine Ausnahme davon bilden am ehesten die beiden Universitätsnetze bei denen das Land in der Verantwortung ist.

Übrige bestehende Wärmenetze (2)

- Laut den Angaben in den Quartierssteckbriefen und im Bericht ist bei den acht kleineren bestehenden Netzen keine Kopplung mit neuen Wärmenetzen oder eine Ausdehnung in benachbarte Siedlungsgebiete geplant.
- Bei den beiden Wärmenetzen, die sich im Besitz des US-Militärs befinden, kann wahrscheinlich nichts anderes erwartet werden.
- Bei den beiden Netzen für die Universitäten in Vaihingen und in Hohenheim, sowie den beiden Firmennetzen in Feuerbach (Bosch) und in Zuffenhausen (Porsche) muss der isolierte Betrieb jedoch in Frage gestellt werden.
- Das derzeit getrennt betriebene Netz im Asemwald könnte nach einer Übergangszeit in das Netz für Plieningen integriert werden.
- Beim Netz auf dem Burgholzhof fällt auf, dass das bebaute Gebiet rund doppelt so groß ist, wie die jetzige Ausdehnung des Wärmenetzes. Hier bestünden auch Erweiterungsmöglichkeiten.

Einzelversorgung mit dezentralen Wärmepumpen

Ergebnis der kommunalen Wärmeplanung: Einzelversorgung



Nördliches Stuttgart: gelb
Mittleres Stuttgart: blau
Südliches Stuttgart: rot

Keine Angaben zur Anzahl
der Gebäude im Gebiet
der Einzelversorgung

Quelle: Bericht Kommunale
Wärmeplanung 2023; S. 69

Ziele zum Ausbau der Einzelversorgung für 2035 im KWP

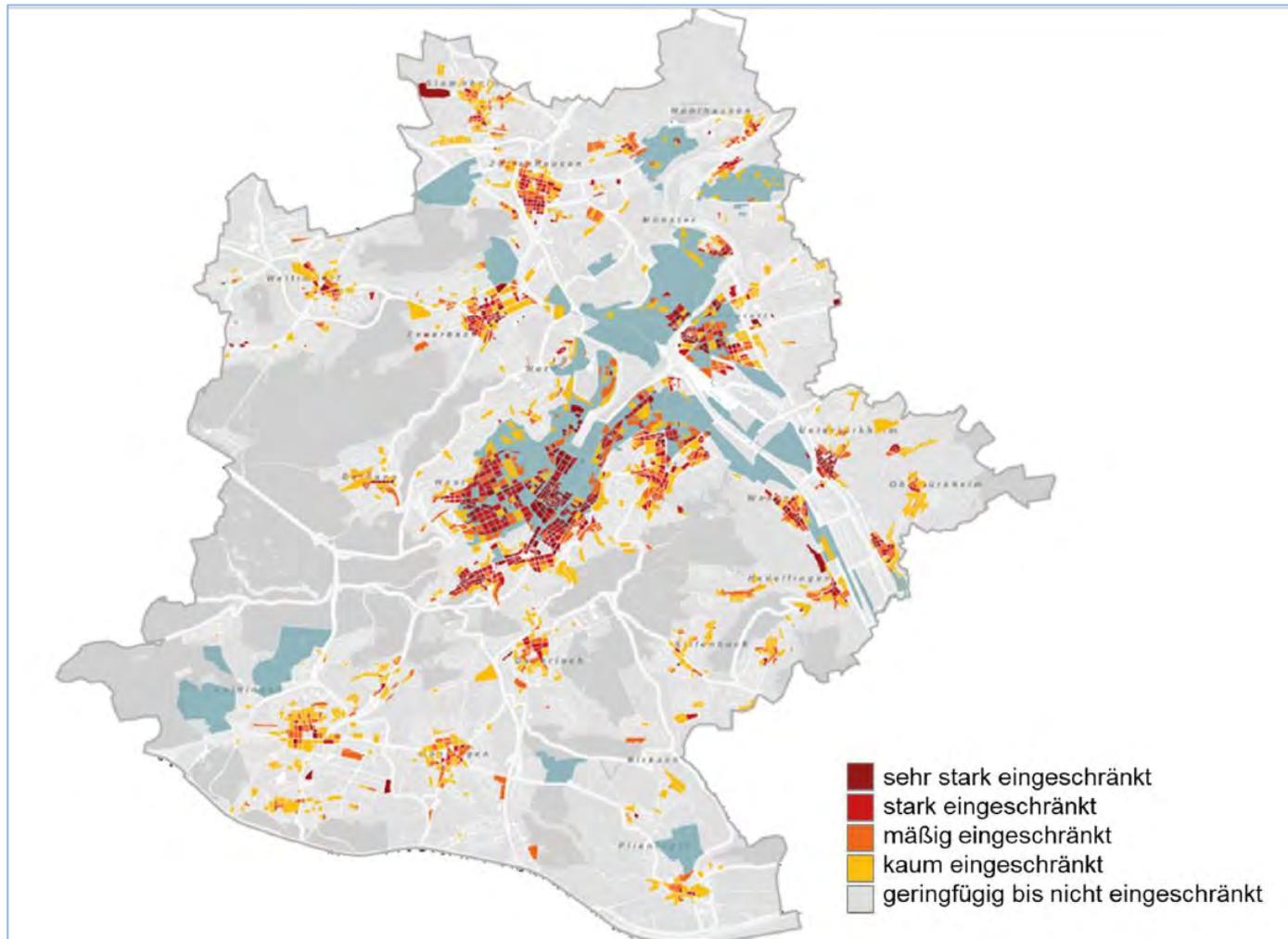
Teilgebiete	Anteil Endenergie 2035 ¹	Anteil Flurstückfläche ¹
Nördliches Stuttgart	4,5 %	9,0 %
Mittleres Stuttgart	22,7 %	49,0 %
Südliches Stuttgart	15,3 %	27,5 %
Summe Anteile	42,6 %	85,5 %
Absolute Gesamtwerte 2035	4.179 GWh/a	20.700 ha
Deckung über Einzelversorgung 2035	1.780 GWh/a	17.700 ha

¹⁾ Auswertung auf der Grundlage der Daten in den Quartiersteckbriefen

Einzelversorgung mit dezentralen Wärmepumpen

- 56 % aller Haushalte sollen 2035 über dezentrale Wärmepumpen mit Wärme versorgt werden.
- Bezogen auf den Endenergieverbrauch im Jahr 2035 entspricht die Einzelversorgung demnach einem Anteil von knapp 43 %.
- Weder in den Quartierssteckbriefen noch im Bericht zum Wärmeplan wird eine Aussage darüber gemacht, wie hoch die entsprechende Anzahl der einzelversorgten Wohngebäude ist.
- Über die Anzahl der Nichtwohngebäude, die nicht in Netzeignungsgebieten für neue Wärmenetze liegen und deshalb auch zur Einzelversorgung vorgesehen sind, gibt es ebenfalls keine Angaben.
- Folgende primäre Wärmequellen für WP werden vorgeschlagen:
 - ✓ Außenluft
 - ✓ Oberflächennahe Geothermie (Erdsonden)
 - ✓ Umweltwärme (Energiezaun, Erdkollektoren, Absorberschläuche)
 - ✓ Abwärme von PV-Modulen und Außenluft (PV-T)

Eignung von Flurstücken für den Betrieb von Luft-Wasser-WP



Quelle: Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 66

Einschätzung zur Anwendung des Ramboll-Algorithmus

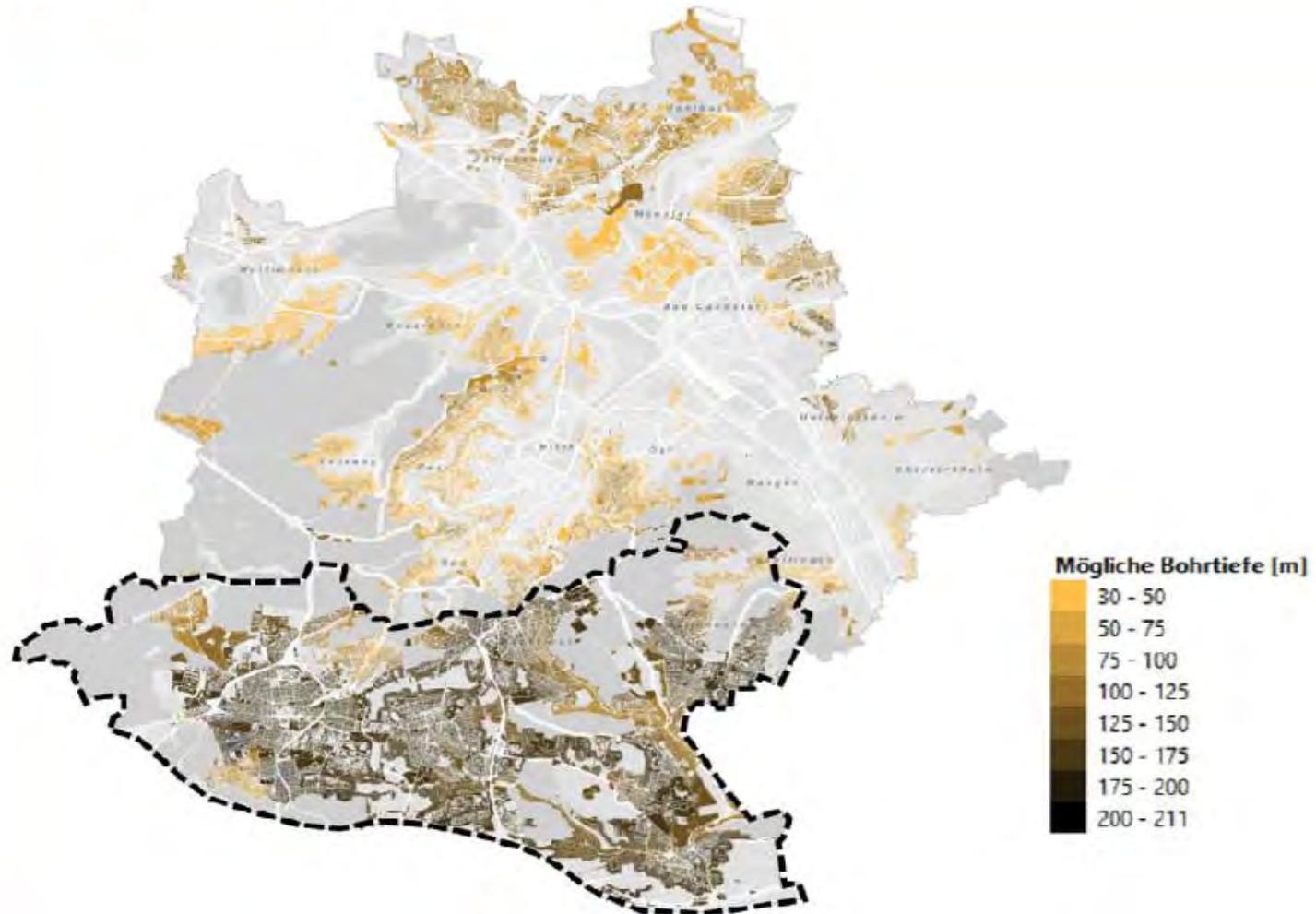
- Das in der Ramboll-Studie verwendete Kriterium zur Untersuchung der Eignung von Grundstücken für die Aufstellung von Luft-Wasser-WP ist der Mindestabstand zu den Nachbargrundstücken.
- Die Regeln zur Schallimmissionsberechnung des Bundesverbands Wärmepumpe (bwp) und die Grenzwerte des Stuttgarter Wärmepumpenprogramms werden dabei offensichtlich nicht ausreichend berücksichtigt (Siehe Stellungnahme des Autors zur Ramboll-Studie).
- Höhenunterschiede auf dem Grundstück und die Abstände zwischen dem Aufstellort der Wärmepumpe und der Wärmeverteilung im Heizkeller sind bei Ramboll nicht Gegenstand der Untersuchungen.
- Ansteigende Investitionskosten für die Installation der Wärmepumpe aufgrund ungünstiger Randbedingungen vor Ort und deren Auswirkungen auf die Wärmeevollkosten werden ebenfalls nicht betrachtet.
- Frage: Ist die Monoblock-WP eine Alternative zur Außenaufstellung? Mit welchem Aufwand ist es in einem Bestandsgebäude überhaupt möglich, die erforderliche Luftmenge in den Heizraum zu bringen?

Exkurs zum Stuttgarter Wärmepumpenprogramm

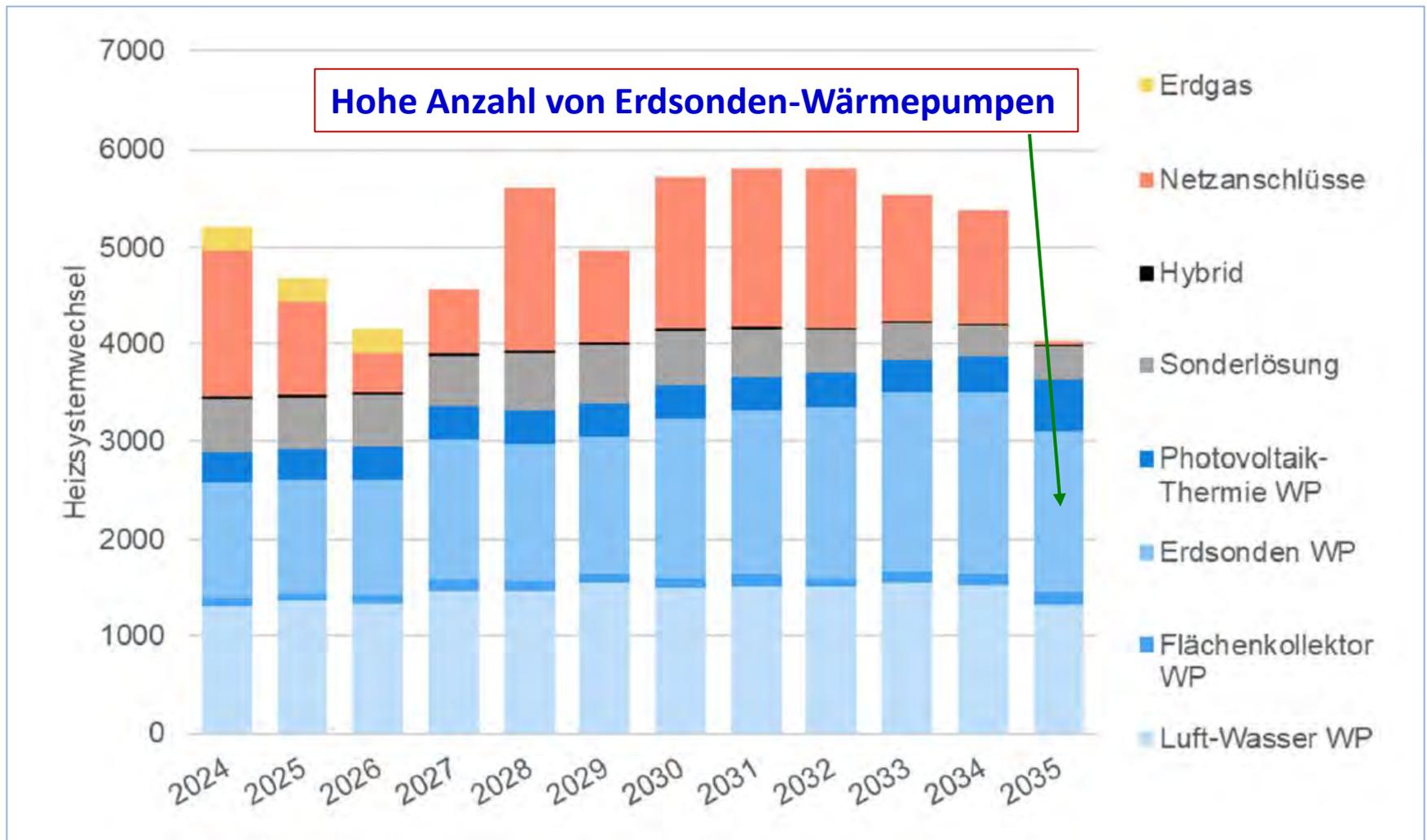
- Das Schallgutachten für ein großes Mehrfamilienhaus im Stadtbezirk Hedelfingen hat ergeben, dass das ausgewählte WP-Aggregat zur Einhaltung der Grenzwerte des Stuttgarter WP-Programms in einem Abstand von 32 m zur Nordseite des Gebäudes aufgestellt werden müsste. Dieser Untersuchung liegt ein Wärmepumpentyp zugrunde, der von Fachleuten als leiseres Aggregat eingestuft wird.
- Die gesetzlichen Grenzwerte der Schallimmission für den am Ende gewählten Standort werden im Gegensatz dazu eingehalten.
- Die Konsequenz daraus ist, dass in diesem Fall eine Förderung mit Mitteln der Stadt Stuttgart nicht möglich sein wird.
- Daran schließt sich die Frage an, welche Wirkung das Stuttgarter Wärmepumpenprogramm unter diesen Umständen entfalten soll.
- Insgesamt ist zu befürchten, dass bei breiter Anwendung von Luft-Wasser-WP in Gebieten mit enger Bebauung der allgemeine Schallpegel, trotz Einhaltung der TA-Lärm, unangenehm ansteigen wird.

Beispiel: Steckbrief Einzelversorgung südliches Stuttgart

Mögliche Bohrtiefen für Geothermienutzung



Jährliche Heizsystemwechsel (dezentral) im Zielszenario



Quelle: Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 90

Fragen zu den Technikooptionen für Erd- und Umweltwärme

- Wo in Stuttgart ist es möglich, auf dem Grundstück eines Mehrfamilienhauses in ausreichender Zahl Erdsonden für den Betrieb einer Sole-Wasser-WP zu bohren, bei denen gleichzeitig auch noch der Mindestabstand zum Nachbargrundstück eingehalten wird?
- Dazu wird sogar im Bericht erwähnt, dass die geothermische Nutzung bei beengten Platzverhältnissen unwahrscheinlich ist (S. 65).
- Wo in Stuttgart können bei den beengten Platzverhältnissen auf vielen Grundstücken Erdkollektoren für Sole-Wasser-Wärmepumpen in ausreichender Größe verlegt werden?
- Im Steckbrief Technikooptionen für die Einzelversorgung werden auch Energiezäune als primäre Wärmequelle für Mehrfamilienhäuser genannt → Wo in Stuttgart können an den Grenzen der jeweiligen Grundstücke Energiezäune in der erforderlichen Größe aufgebaut werden, um die Wärmeversorgung für ein MFH mit bis zu 15 Wohnungen zu gewährleisten?

Beurteilung zu den PV-T-Kollektoren (1)

- Im Steckbrief Technikoptionen werden als Einsatzgebiet für PV-T-Kollektoren Mehrfamilienhäuser bis zu 15 Wohneinheiten genannt.
- Die Einschätzung im Bericht, dass sich PV-T-Kollektoren bei kleinen Mehrfamilienhäusern und bei Einfamilienhäusern zur Einzelversorgung anbieten, erscheint auf jeden Fall realistischer (S. 39).
- Im Bericht ist außerdem vermerkt, dass die Potenziale für PV-T flurstückscharf zur Verfügung stehen (S. 40). Eine entsprechende Karte wird im kommunalen Wärmeplan allerdings nicht zur Verfügung gestellt.
- Eine Aussage über die Höhe des Potenzials zur Stromerzeugung und zur Wärmeproduktion durch die Anwendung von PV-T-Kollektoren fehlt ebenso.

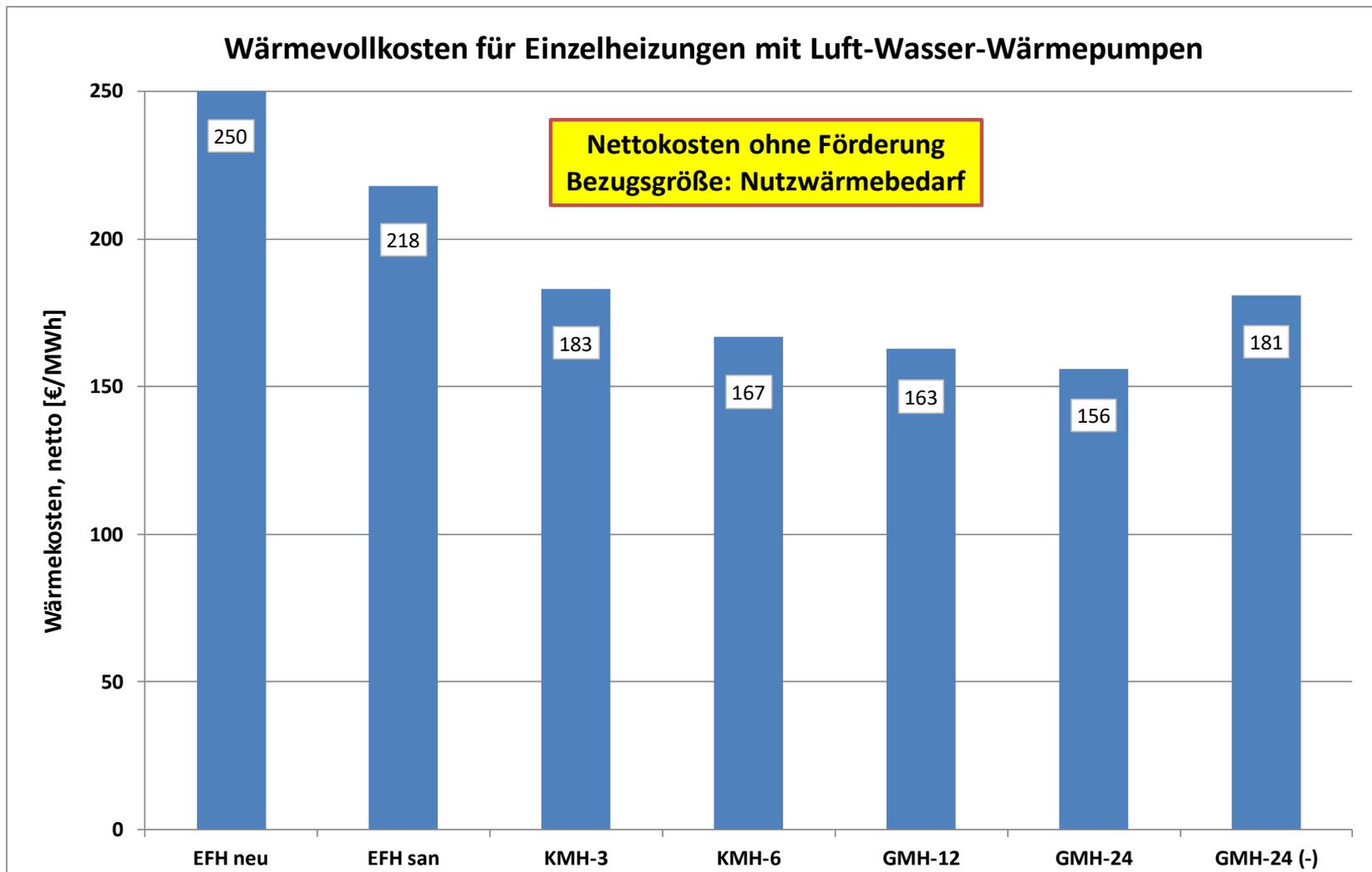
Beurteilung zu den PV-T-Kollektoren (2)

- Auf der Grundlage der flurstückscharfen Berechnung wäre es einfach gewesen, zumindest die aggregierten Potenzialwerte für die Strom- und Wärmeerzeugung pro Stadtbezirk in die Ergebnisdarstellung aufzunehmen.
- Die insgesamt nicht ganz nachvollziehbaren Einschränkungen, die auf S. 37 des Berichts für das Potenzial der Fotovoltaik bis 2035 beschrieben werden, wirken sich in direkter Weise auch auf die Ausbaumöglichkeiten der PV-T-Anlagen aus.
- Auf Dächern, auf denen bereits während der letzten Jahre PV-Anlagen installiert wurden, können während der nächsten 20 bis 25 Jahre keine PV-T-Kollektoren angebracht werden.

Wärmekosten bei Einzelversorgung

- Im Steckbrief Technikoptionen fehlen jegliche Kostenangaben zu den beschriebenen Wärmepumpenvarianten zur Einzelversorgung.
- Notwendig wären für alle erläuterten oder zumindest für die am häufigsten eingesetzten Technikvarianten folgende Angaben:
 - Typische Investitionskosten für Wärmepumpe und Speicher
 - Betriebskosten für Wartung und Instandhaltung
 - Strombedarf bei üblichen Jahresarbeitszahlen
 - Jährliche Stromkosten bei Berücksichtigung der aktuellen Strompreise
 - Resultierende Wärmeevollkosten
- Diese Berechnungen müssten für alle relevanten Gebäudetypen repräsentative Werte der Wärmeevollkosten liefern.
- Um die dezentrale Wärmeversorgung in den Gesamtzusammenhang einordnen zu können, wurden deshalb eigene Kostenberechnungen durchgeführt (Diagramm auf Folie 76)

Übersicht über die Wärmekosten für Einzelheizungen



Randbedingungen der Berechnung: siehe Anhang Folie 138

Erläuterungen zur Kostenrechnung

- Die angegebenen Wärmekosten für den Neubau eines Einfamilienhauses beziehen sich auf den Mindest-Wärmedämmstandard.
- Wird beim Neubau ein höherer Dämmstandard realisiert, erhöhen sich die Wärmekosten pro Megawattstunde nochmals deutlich.
- Bei den Beispielen für kleine und große Mehrfamilienhäuser handelt es sich um sanierte Gebäude. Die Zahl hinter der Abkürzung gibt jeweils die Zahl der Wohneinheiten (WE) an.
- Das mit einem Minuszeichen in der Klammer gekennzeichnete GMH mit 24 WE ganz rechts ist ein Beispiel dafür, in welchem Umfang die Wärmekosten bei ungünstigen Randbedingungen ansteigen können. Die für diesen Fall berechneten Kosten basieren auf einer mehr als einjährigen Planung und konkreten Angeboten für Anlagentechnik, Bauarbeiten und Installation.
- Unter ähnlichen Bedingungen sind vergleichbare Kostensteigerungen auch bei kleineren Gebäuden möglich.

Zwischenfazit zur Einzelversorgung mit dezentralen WP (1)

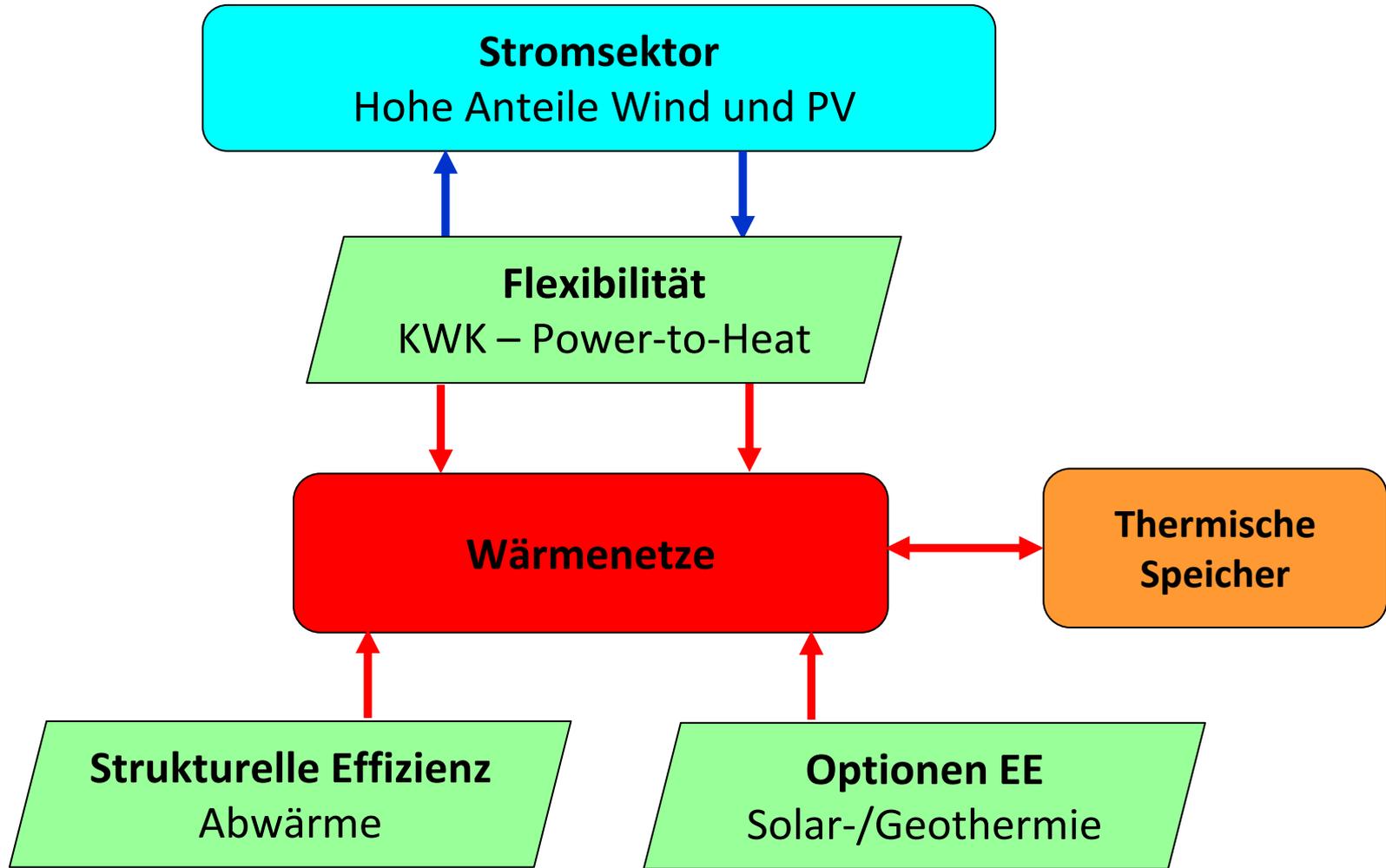
- Gemäß dem aktuellen kommunalen Wärmeplan sollen die Gebäude in großen Teilen der Stadt Stuttgart mit dezentralen Wärmepumpen beheizt werden (85 % der Flurstückfläche).
- Im entsprechenden Techniksteckbrief werden zwar verschiedene Möglichkeiten für primäre Wärmequellen und für Wärmepumpentechniken genannt, aber unter den Stuttgarter Randbedingungen müsste die Luft-Wasser-WP weitaus am häufigsten zum Einsatz kommen.
- Sole-Wasser-WP mit Erdsonden und Erdkollektoren sowie mit Energiezäunen werden aufgrund der dichten Bebauung nur eine untergeordnete Rolle spielen. Auch der Einsatz von Luft-Wasser-WP wird dadurch an vielen Stellen erschwert oder sogar unmöglich.
- In den Steckbriefen Einzelversorgung für die Bereiche Nord, Mitte und Süd werden die Kosten der Wärmeerzeuger nur aufsummiert für das gesamte jeweilige Gebiet angegeben. Eine Zahl, die von den betroffenen Eigentümern praktisch nicht verwertbar ist.

Zwischenfazit zur Einzelversorgung mit dezentralen WP (2)

- Typische Fallbeschreibungen für verschiedene Gebäudetypen mit repräsentativen Kostenangaben und Aussagen zu den zu erwartenden Wärmeevollkosten sind nicht enthalten.
- Durch erschwerte Randbedingungen vor Ort können die Investitions- und damit auch die Wärmekosten nochmals deutlich ansteigen.
- Die Kosten für die Verstärkung der elektrischen Niederspannungsnetze, die notwendig sein wird, um die Leistung für die vielen neuen Wärmepumpen bereitstellen zu können, sind nicht Bestandteil des Wärmeplans.
- Außerdem gibt es keinen Zeitplan zur geplanten Abschaltung der Niederdruck-Gasnetze, die nach Erreichen der Klimaneutralität ab 2035 nicht mehr benötigt werden (Zielszenario, Bericht S. 85).
- Insgesamt fehlt im Kommunalen Wärmeplan der Nachweis, dass die Einzelversorgung mit dezentralen Wärmepumpen so wie geplant in weiten Teilen der Stadt technisch und ökonomisch machbar ist.

Systemdienstleistungen von Wärmenetzen für das gesamte Energiesystem

Systemeinbindung von Wärmenetzen inklusive Speicher



Beschreibung der Systemdienstleistungen (Grafik Folie 81)

Technologieoffenheit und Effizienz

- Wärmenetze können Wärme aus allen Arten von erneuerbaren Energien, die in Kombination mit den geeigneten Anlagentechniken erzeugt wird, aufnehmen. Es gibt keine Einschränkungen.
- Mit Wärmenetzen können alle Arten von Abwärme entweder direkt oder indirekt über Wärmepumpen effizient genutzt werden.
- Wärmenetze in Kombination mit Großwärmepumpen nutzen den erneuerbaren Strom fünfmal effektiver als beim Einsatz von grünem Wasserstoff in der Gebäudeheizung.

Flexibilität und Stabilität für das Energiesystem

- Wärmenetze in Kombination mit großen thermischen Speichern bieten die Möglichkeit, das zukünftige Energiesystem mit hohen Anteilen fluktuierender Stromerzeugung auszubalancieren.
- Großwärmepumpen und Elektrokessel können dann eingeschaltet werden, wenn das Stromangebot hoch ist (Power-to-heat). Flexibel betriebene KWK-Anlagen stellen dagegen die Residuallast bereit.

Konsequenzen für die kommunale Wärmeplanung

- Die Wärmenetz-Potenziale müssen bei der Erstellung der lokalen Wärmepläne soweit wie möglich ausgeschöpft werden, damit die Grundlage dafür geschaffen wird, dass Wärmenetze in ausreichendem Umfang Systemdienstleistungen für das gesamte Energiesystem bereitstellen können.
- Das gilt neben den vielen anderen großen und kleineren Städten auch für eine Großstadt wie Stuttgart, die durch eine sehr dichte Bebauung innerhalb der Siedlungsgebiete in den 23 Stadtbezirken gekennzeichnet ist.

Kriterien für die Zonierung der Siedlungsgebiete

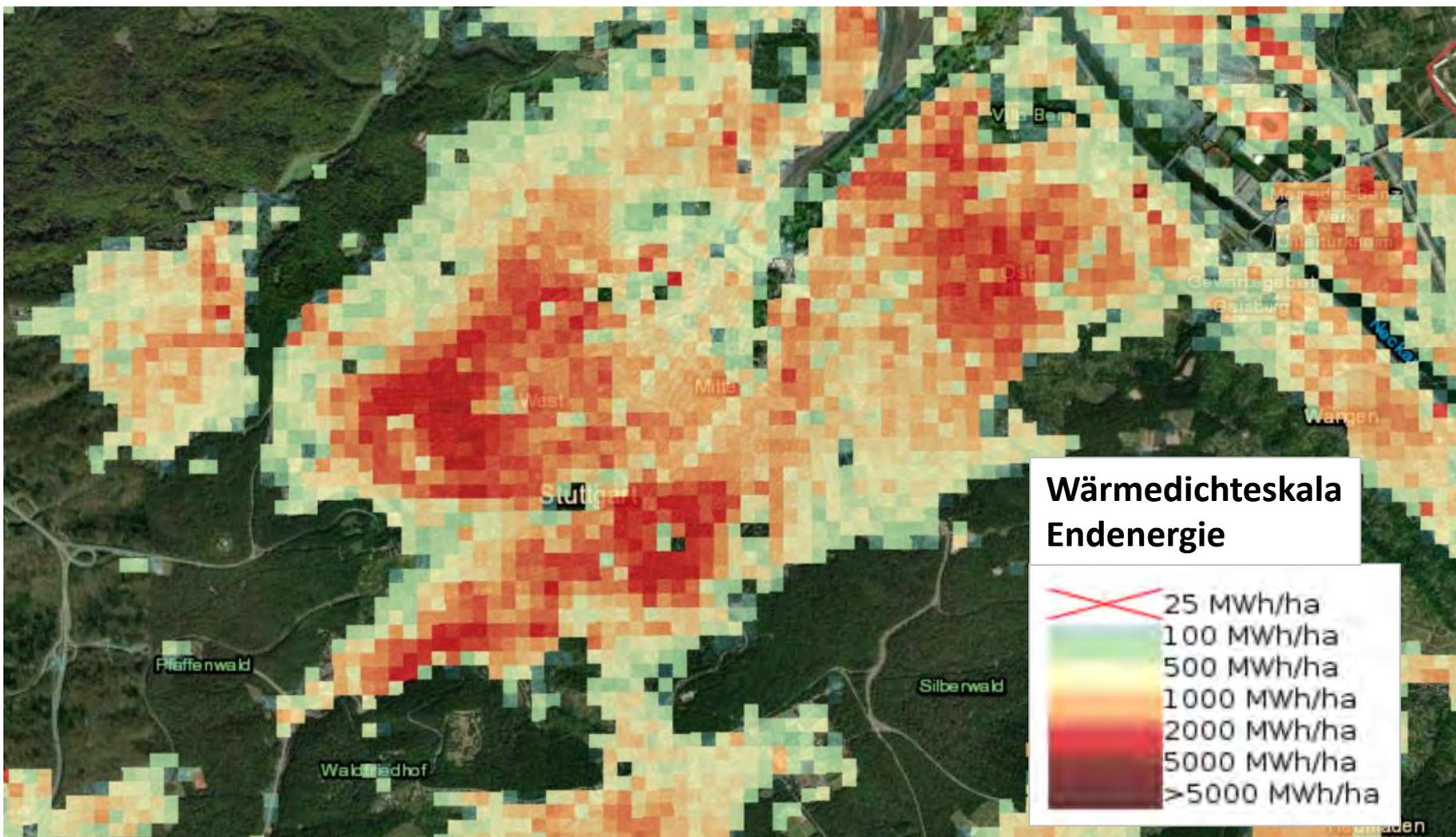
Folgende Kriterien sind für die Einteilung in Eignungsgebiete wichtig (Die grün gekennzeichneten leiten sich aus den blauen Punkten ab):

- Räumliche Verteilung der Wärmedichte sowie deren zeitliche Entwicklung in einem zu untersuchenden Siedlungsgebiet
- Trassenlängen und Liniendichte der Wärmenetze
- Entwicklung des Anschlussgrads an die Wärmenetze
- Wärmeverteilungskosten der Wärmenetze
- Wärmeezeugungskosten für die Wärmeezeugung mit erneuerbaren Energien und mit Abwärme
- Wärmekosten konkurrierender Systeme zur Einzelversorgung (dezentrale Wärmepumpen)



Ausgangspunkt für die Zonierung ist die Wärmedichtekarte einer Stadt auf der Basis eines Hektarrasters (siehe Folie 86)

Wärmedichtekarte der zentralen Bereiche von Stuttgart



Quelle: <https://www.hotmaps.eu/map>

Alternativer Planungsansatz - Untersuchungen zum Potenzial von Wärmenetzen in vier Stadtbezirken

Überblick über die Randbedingungen

- Die vier ausgesuchten Bezirke sind:
Zuffenhausen, Botnang, Hedelfingen und Degerloch.
- Die Berechnungen wurden auf der Basis des Wärmeatlas der Hotmaps-Toolbox durchgeführt (www.hotmaps.eu).
- Die zeitliche Entwicklung des Wärmebedarfs in den 4 Bezirken folgt der im KWP angegebenen Verbrauchsminderung für die Quartiere:
 - ✓ Zuffenhausen → Zuffenhausen-Mitte
 - ✓ Botnang → Botnang Franz-Schubert-Straße
 - ✓ Hedelfingen → Zentrum des Stadtteils Hedelfingen
 - ✓ Degerloch → Degerloch-Mitte
- Die Ermittlung der Trassenlängen der Wärmenetze erfolgte mit Hilfe des in der Hotmaps-Toolbox implementierten Verfahrens, ergänzt um den im Projekt ANSWER-Kommunal entwickelten Korrekturfaktor.
- Bei der Berechnung der Wärmeverteilungskosten wurden die jeweiligen spezifischen Netzkosten (inkl. HÜS) aus dem KWP zugrunde gelegt.

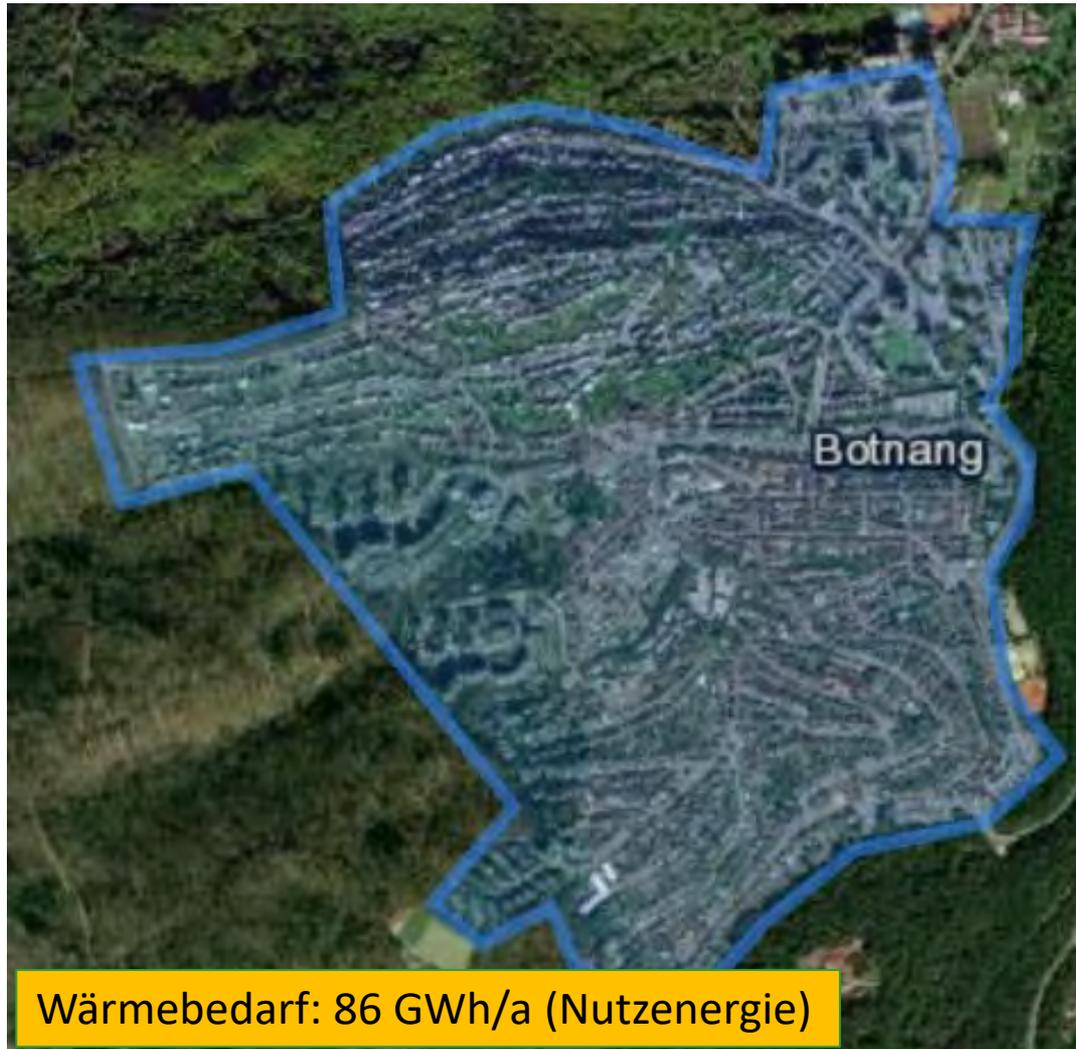
Ausgewähltes Gebiet im Bezirk Zuffenhausen



Siedlungsgebiet ohne Porsche-Areal

Quelle: <https://www.hotmaps.eu/map>

Ausgewähltes Gebiet im Bezirk Botnang



Siedlungsgebiet ohne Friedhof,
Freibäder und Sportplätze

Quelle: <https://www.hotmaps.eu/map>

Ausgewähltes Gebiet im Bezirk Hedelfingen

Siedlungsgebiet ohne die Stadtteile Hafen und Lederberg



Quelle: <https://www.hotmaps.eu/map>

Ausgewähltes Gebiet im Bezirk Degerloch (Variante 1)



Siedlungsgebiet ohne
Haigst und Hoffeld

Quelle: <https://www.hotmaps.eu/map>

Ausgewähltes Gebiet im Bezirk Degerloch (Variante 2)



Siedlungsgebiet ohne
Haigst und Hoffeld

Teilgebiet Waldau: nur
Eishalle und Waldschule

Wärmebedarf: 98 GWh/a (Nutzenergie)

Quelle: <https://www.hotmaps.eu/map>

Wärmebedarf, Ausdehnung und mittlere Wärmedichte

Stadtbezirk	Arealfläche	Wärmebedarf heute (Nutzenergie)	Wärmedichte heute (Nutzenergie)
Zuffenhausen	335 ha	212 GWh/a	633 MWh/ha*a
Botnang	175 ha	86 GWh/a	491 MWh/ha*a
Hedelfingen	114 ha	50 GWh/a	440 MWh/ha*a
Degerloch_V1	188 ha	97 GWh/a	515 MWh/ha*a
Degerloch_V2	180 ha	98 GWh/a	545 MWh/ha*a

Quelle: <https://www.hotmaps.eu/map>

Eckdaten zu den Wärmenetzen in den vier Bezirken

Parameter	Zuffenhausen	Botnang	Hedelfingen	Degerloch-2
Trassenlänge	78,4 km	44,5 km	28,1 km	45,9 km
Liniendichte 2035	1.999 kWh/m	1.596 kWh/m	1.403 kWh/m	1.608 kWh/m
AG-Entwicklung	60 – 97 %	60 – 97 %	60 – 97 %	60 – 97 %
Spez. Kosten KWP	1.240 €/m	1.180 €/m	1.200 €/m	1.240 €/m
Spez. Kosten +10%	1.364 €/m	1.298 €/m	1.320 €/m	1.364 €/m
Investitionskosten	97.216.000 €	52.510.000 €	33.720.000 €	56.916.000 €

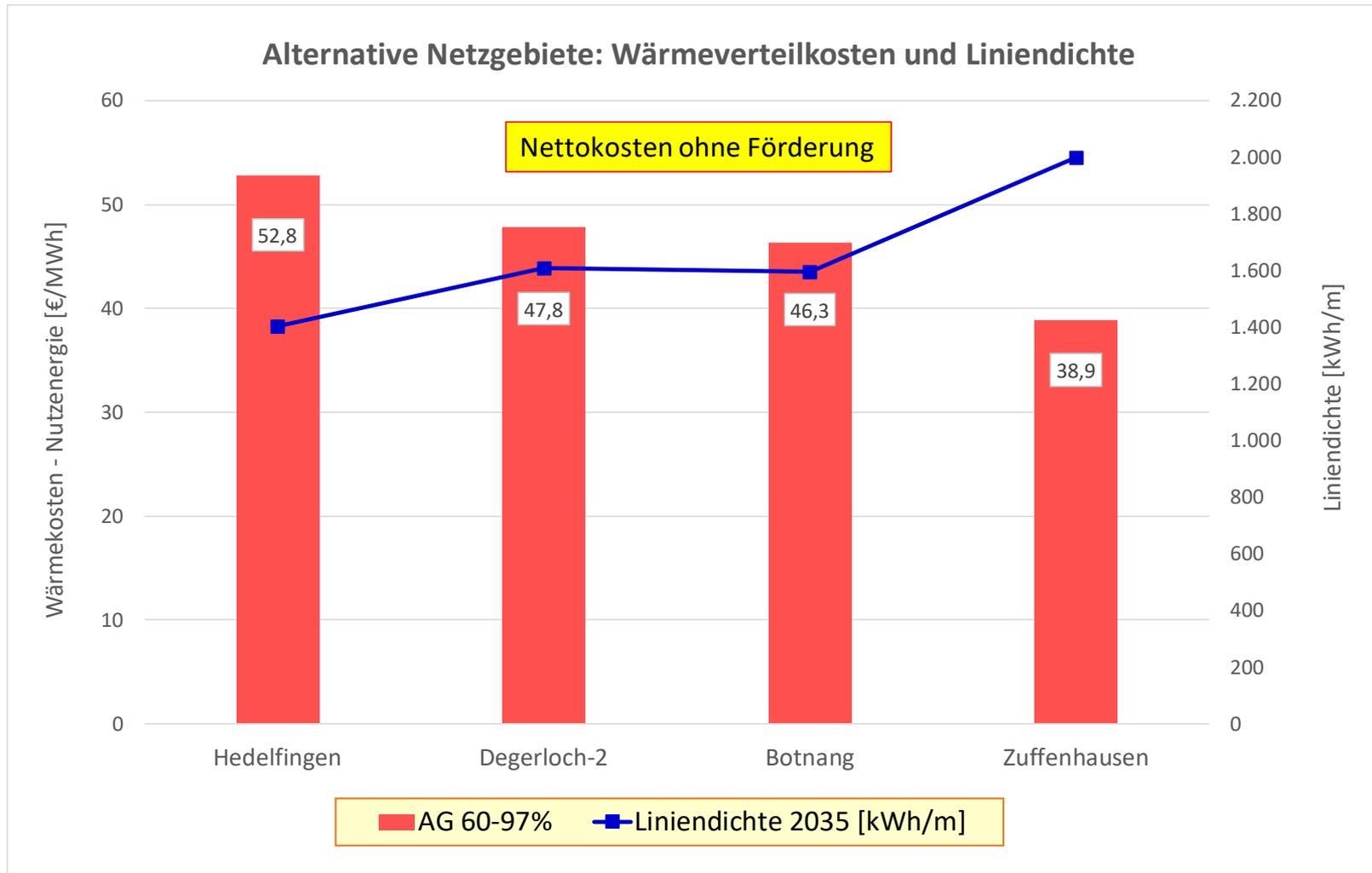
Die Berechnung der Trassenlänge basiert auf der Hotmaps-Toolbox und Korrekturfaktoren aus ANSWER-Kommunal

Die Anschlussgradiententwicklung von 60 % auf 97 % erstreckt sich über einen Zeitraum von 15 Jahren

In den spezifischen Netzkosten sind die Kosten für die Hausübergabestationen enthalten

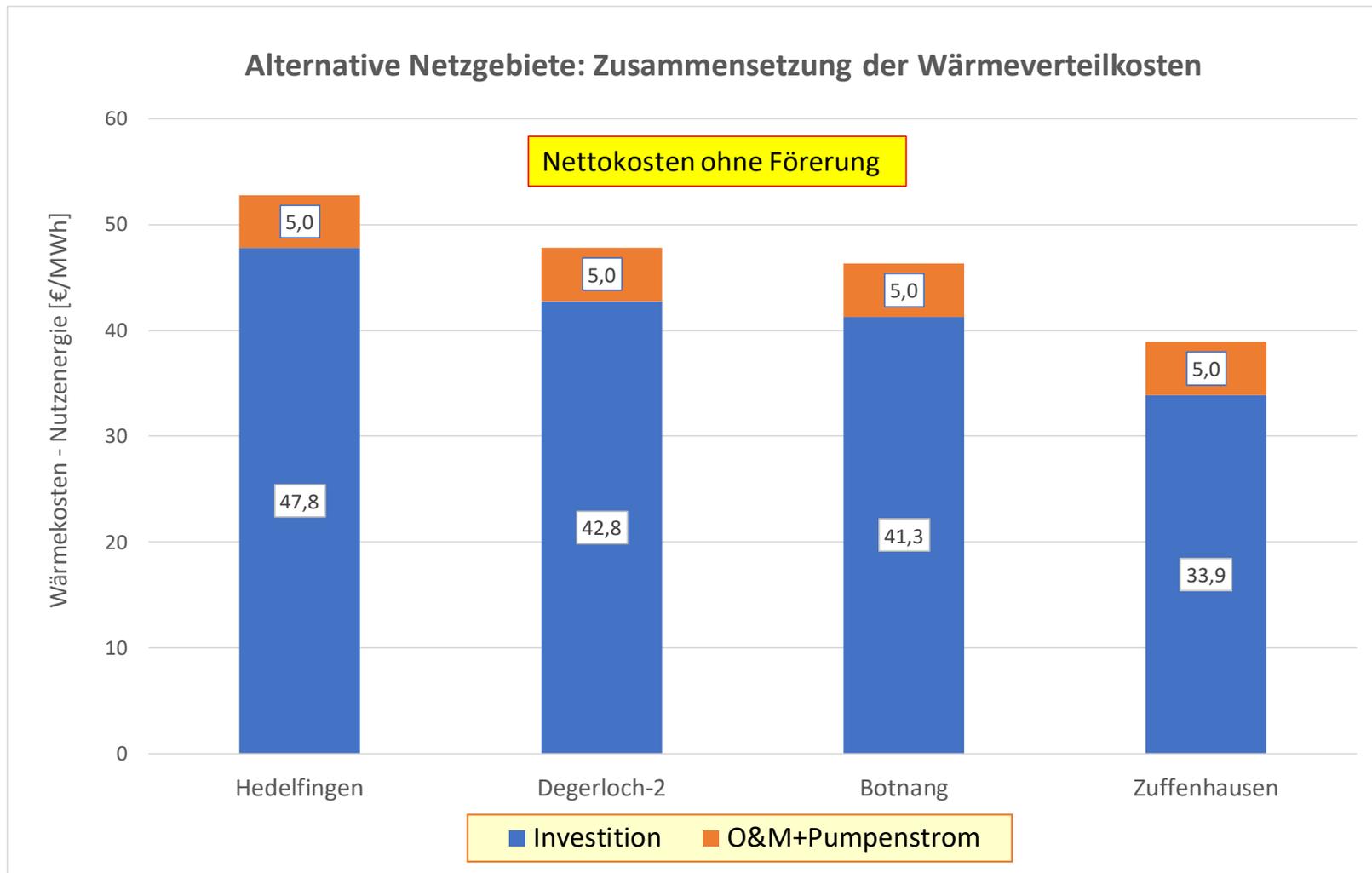
Die Trassenlänge im Fall von Degerloch-1 beträgt 48,7 km; die Investitionskosten liegen bei 60.388.000 €

Wärmeverteilungskosten in Abhängigkeit der Liniendichten



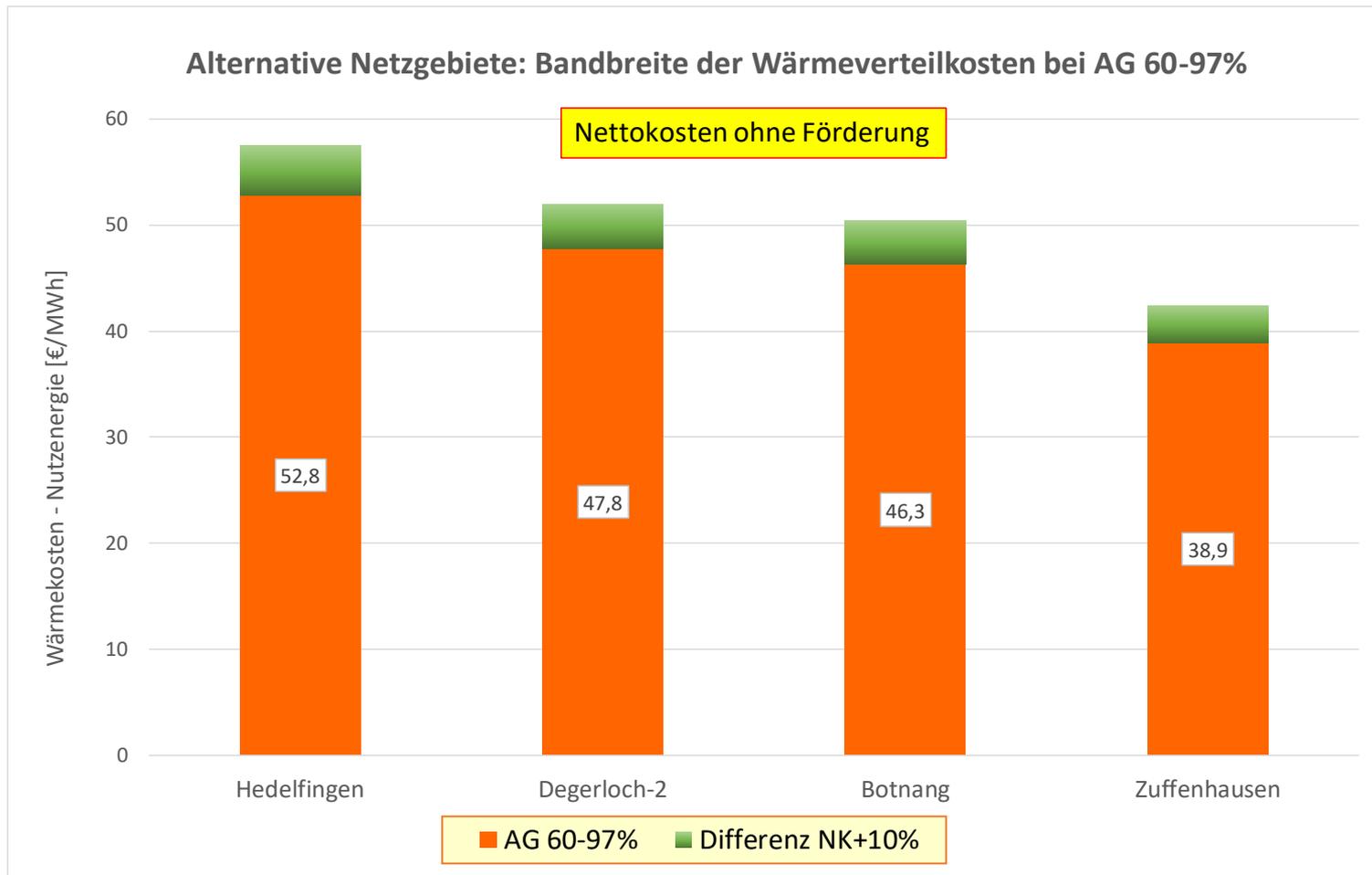
Randbedingungen: siehe Anhang Folie 135

Anteil der Investitionskosten an den Verteilkosten



Randbedingungen: siehe Anhang Folie 135

Bandbreite der Wärmeverteilkosten

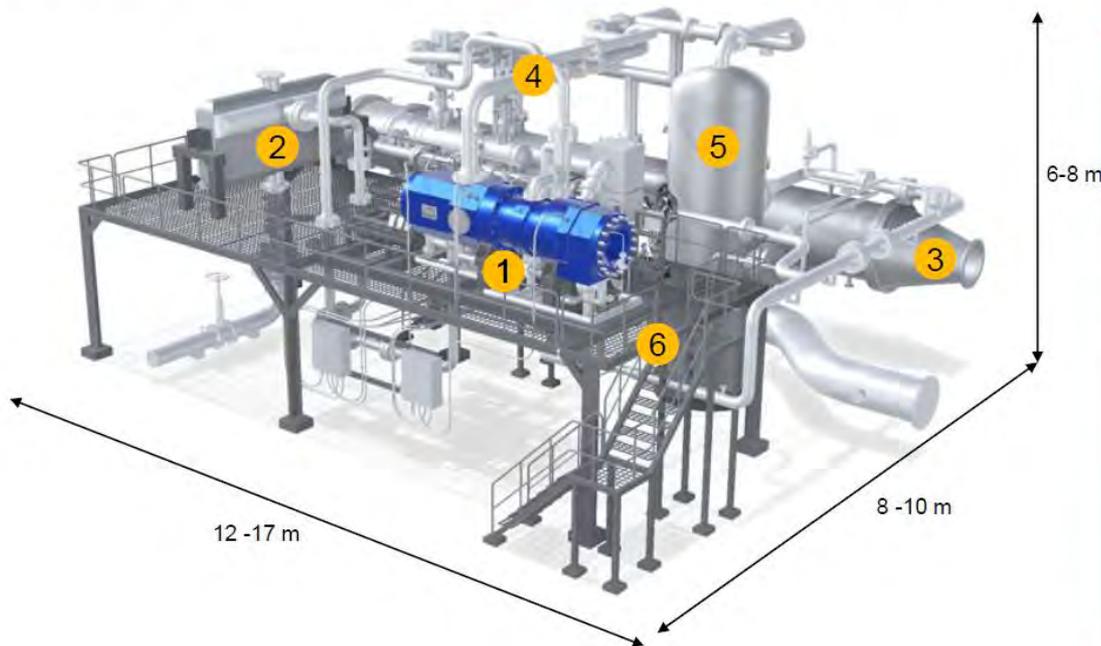


Randbedingungen: siehe Anhang Folie 135

Die Erhöhung der spezifischen Netzkosten um 10 % berücksichtigt Kostensteigerungen durch teilweise höhere Rohrdurchmesser und durch Höhenunterschiede im Gebiet

Beispiel zur Wärmeerzeugung: Großwärmepumpe von MAN

Possible heat-pump layout – MAN-ES delivery



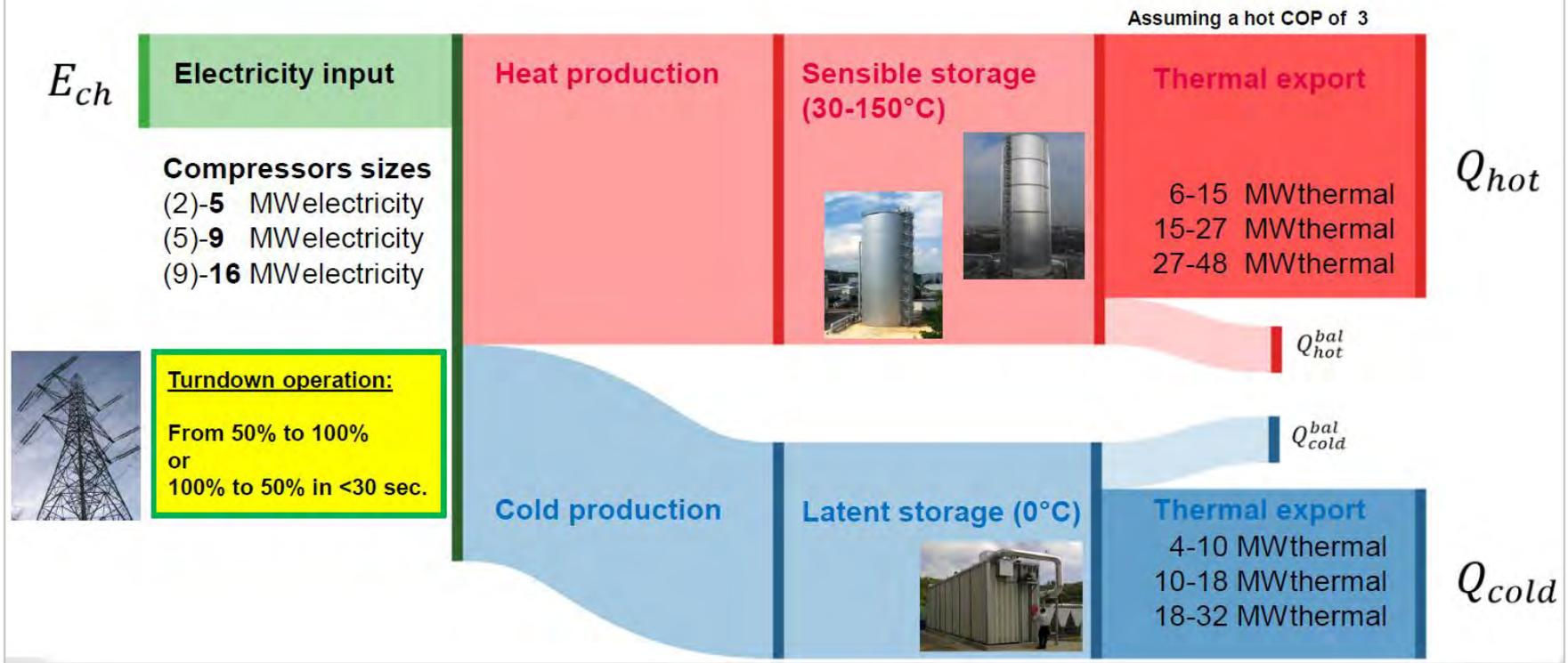
MAN Energy Solutions delivery

1. Motor-Compressor HOFIM® with integrated expander
 2. District Heating Heat Exchanger (Condenser)
 3. Evaporator
 4. Complete piping and valves
 5. CO₂ (R744) separator tank
 6. Steel structure
- +
- Instrumentation, connecting cables
 - DHN water pumps
 - Complete electrical scope
 - Complete control system
 - FAT of main equipment
 - Installation and commissioning
 - On site testing

Quelle: Decorvet, R. (MAN Energy Solutions): Vortrag beim Webinar des Danish Board of District Heating (DBDH) am 08. und 13. Juni 2023 mit dem Thema „Rethink your Heat Supply“ (siehe Anhang)

Eckdaten der Großwärmepumpe von MAN Energy Solutions

Heat & cold production capacities



Quelle: Decorvet, R. (MAN Energy Solutions): Vortrag beim Webinar des Danish Board of District Heating (DBDH) am 08. und 13. Juni 2023 mit dem Thema Rethink your Heat Supply

Praktische Anwendung der Großwärmepumpe in Esbjerg



In Esbjerg wurden zwei Wärmepumpen mit jeweils 30 MW_{th} installiert. Nach erfolgter Inbetriebnahme wird dadurch das Kohleheizkraftwerk ersetzt. Primäre Wärmequelle für die Wärmepumpe ist Meerwasser.

Vorschläge zur Wärmeerzeugung in den 4 Stadtbezirken (1)

■ Zuffenhausen

- ✓ Große Flusswasser-WP unterhalb des östlichen Rands des Stadtteils Rot (Luftlinie zum Neckar weniger als 500 m; Höhenunterschied zum Fluss)
- ✓ Große Luft-Wasser-WP an einem geeigneten Standort am Rand des Stadtbezirks (Abstand zum Siedlungsgebiet möglich)
- ✓ Große Freiland-Solarthermieanlage im Norden des Stadtbezirks (Je nach Größe unterschiedlicher Abstand zum Siedlungsgebiet möglich)
- ✓ Große WP zur Nutzung der überschüssigen Abwärme aus den Produktionsgebäuden im Porsche-Areal
- ✓ Einbindung des Wärmenetzes der Porsche AG mit den Blockheizkraftwerken; Kopplung der beiden Netze
- ✓ Thermischer Speicher und Elektrokessel zur Spitzenlasterzeugung

Vorschläge zur Wärmeerzeugung in den 4 Stadtbezirken (2)

■ Botnang

- ✓ Große Luft-Wasser-WP an einem geeigneten Standort am Rand des Bezirks
- ✓ Abwärme aus dem Abwasserkanal Richtung Feuerbacher Tal
- ✓ Abwärme eines flexibel betriebenen Blockheizkraftwerks (Residuallast), in dem biogene Gase oder später ggf. Wasserstoff zum Einsatz kommen
- ✓ Kopplung mit dem FW-Netz in Feuerbach über das Feuerbacher Tal oder mit dem Netz in Stuttgart-West (ggf. Düker unter dem Botnanger Sattel)
- ✓ Thermischer Speicher und Elektrokessel zur Spitzenlasterzeugung

■ Hedelfingen

- ✓ Große Flusswasser-WP am Neckar für die gemeinsame Versorgung mit dem benachbarten Stadtbezirk Wangen
- ✓ Überschüssige Abwärme aus Industriebetrieben als primäre Wärmequelle für Wärmepumpen
- ✓ Thermischer Speicher und Elektrokessel zur Spitzenlasterzeugung

Vorschläge zur Wärmeerzeugung in den 4 Stadtbezirken (3)

▪ Degerloch

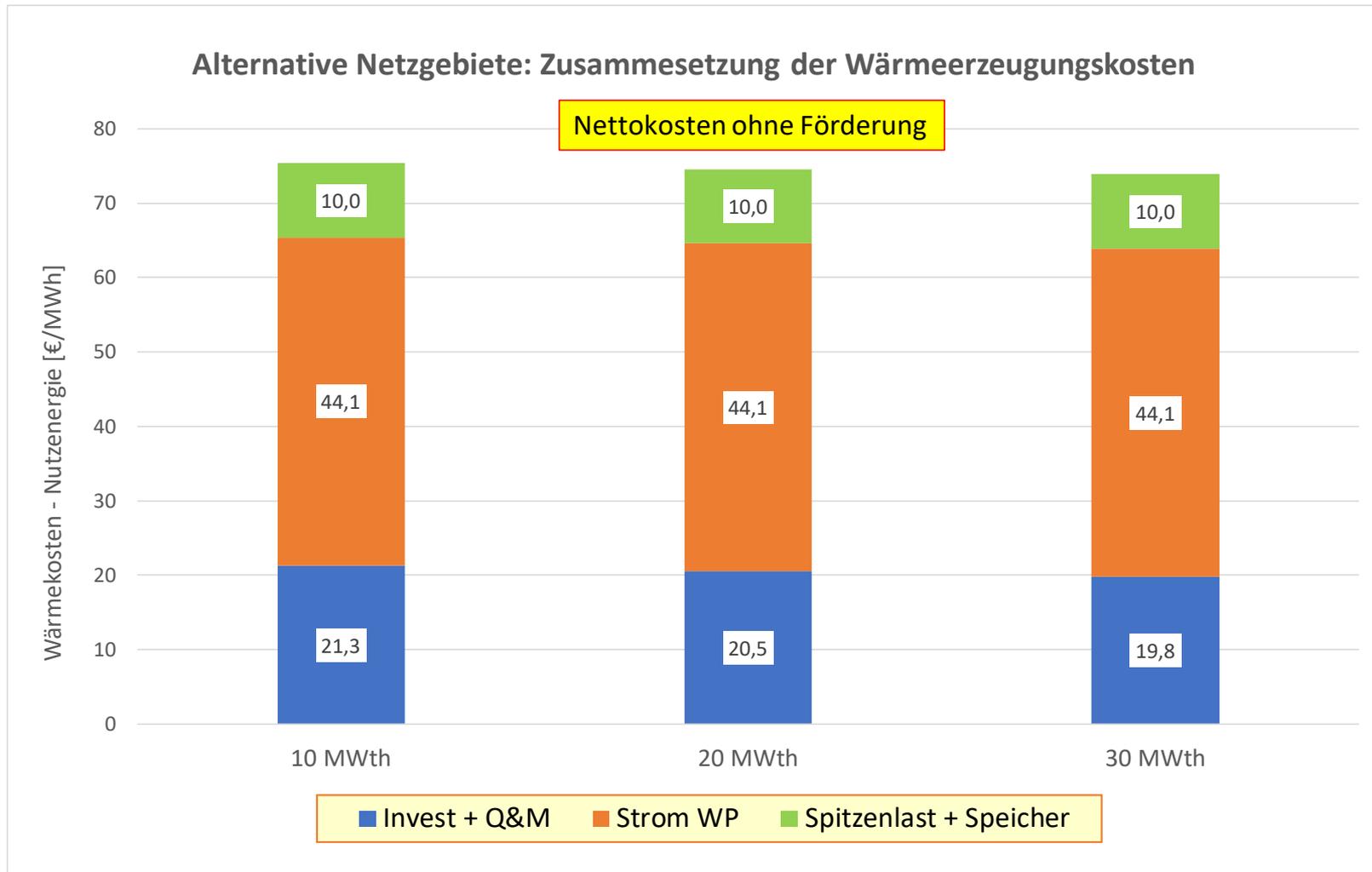
- ✓ Große Luft-Wasser-WP im oder am Rand des Gewerbegebiets Tränke
- ✓ Abwärme eines flexibel betriebenen Blockheizkraftwerks (Residuallast), in dem biogene Gase (oder ggf. Wasserstoff) zum Einsatz kommen
- ✓ Abwärme aus den Eishallen im Gebiet Waldau als primäre Wärmequelle für Wärmepumpen
- ✓ Oberflächennahe Geothermie mit Erdsonden unter den Sport- und Parkplätzen im Gebiet Waldau (Sole-Wasser-WP)
- ✓ Freiland-Solarthermieanlage am Rand des Stadtbezirks
- ✓ Thermischer Speicher und Elektrokessel zur Spitzenlastherzeugung

Beispielhafte Berechnung der Wärmeerzeugungskosten

Annahmen zur Kostenberechnung

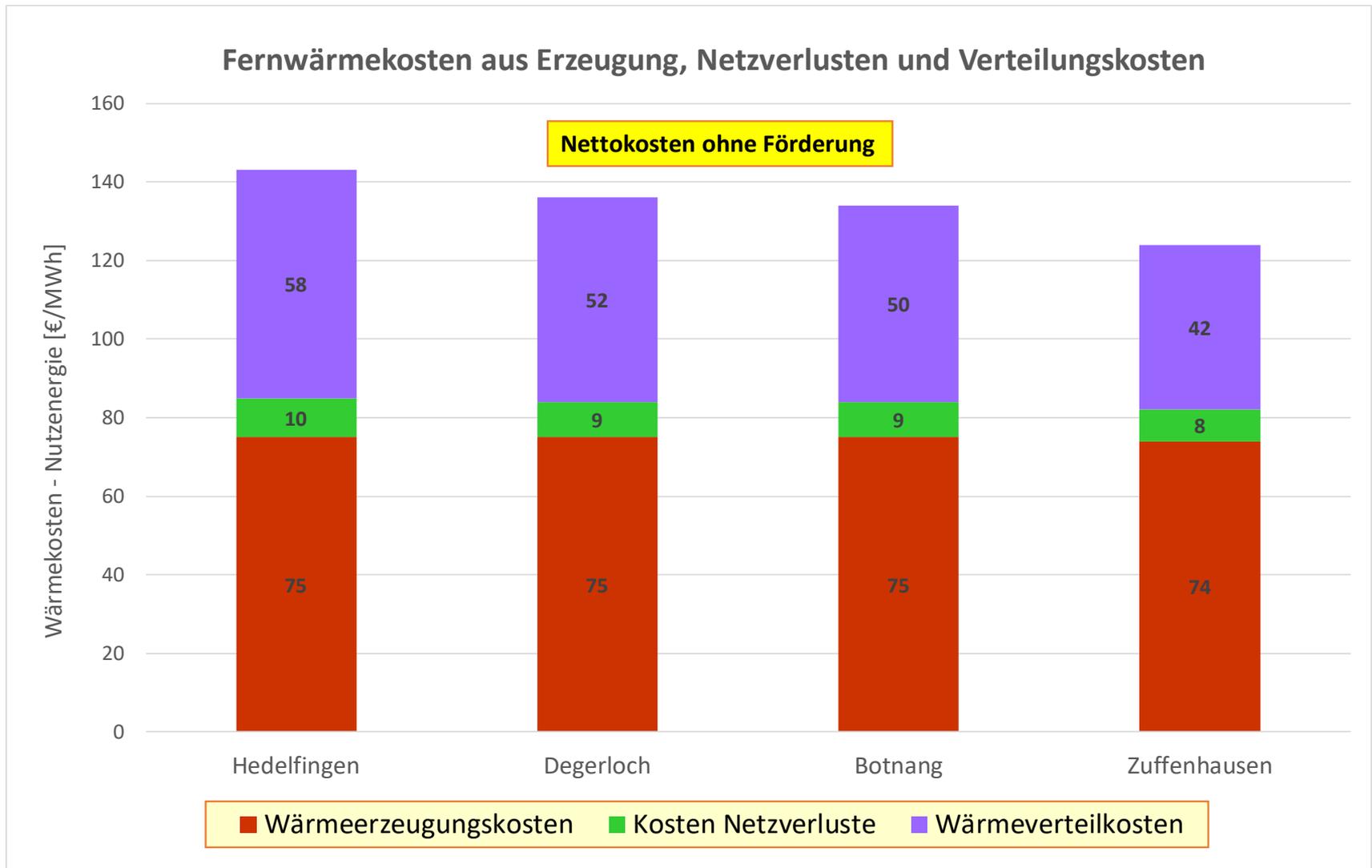
- Stellvertretend für die genannten Optionen zur Wärmeerzeugung werden die Wärmekosten für eine Großwärmepumpe berechnet. Ein Beispiel dafür kann die Maschine von MAN Energy Solutions sein.
- Die spezifischen Investitionskosten betragen derzeit rund 900 €/kW_{th}.
- Dieser Wert wird einerseits vom Danish Board of District Heating berichtet (siehe Anhang). Andererseits wurden die Kosten für die Groß-WP der MVV in Mannheim mit denselben Werten angegeben.
- Für die Kosten der Spitzenlasterzeugung und des thermischen Speichers werden pauschal 10 €/MWh zugrunde gelegt. Dieser Wert ist ein Ergebnis der Untersuchungen im Projekt ANSWER-Kommunal.
- Alle sonstigen Randbedingungen sind der entsprechenden Tabelle im Anhang zu entnehmen (siehe Folie 137)

Wärmeerzeugungungskosten von Großwärmepumpen

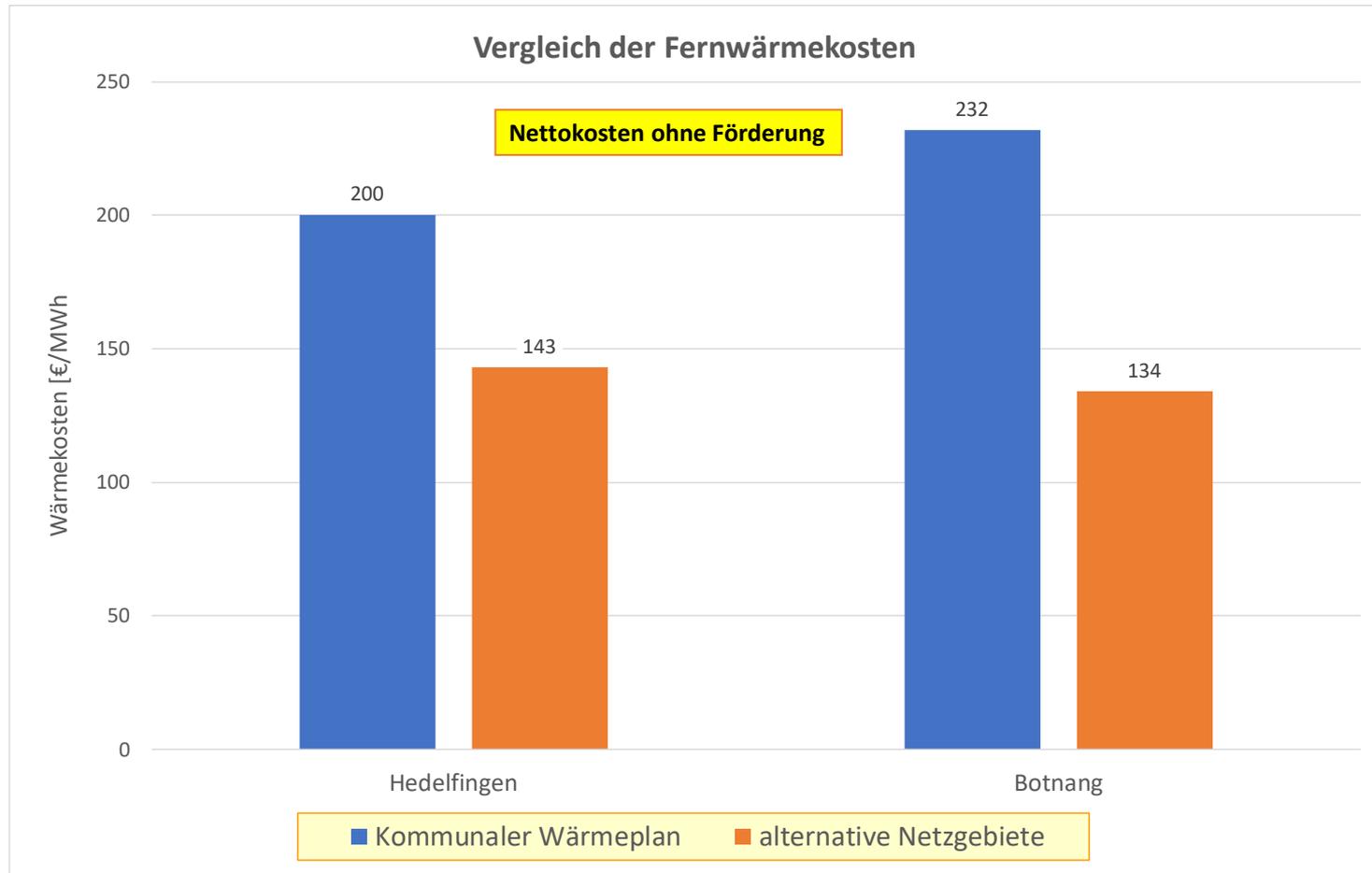


Randbedingungen: siehe Anhang Folie 137

Fernwärmekosten für die alternativen Netzgebiete



Fernwärmekosten im KWP und in alternativen Netzgebieten



Kein Vergleich für Zuffenhausen und Degerloch, da die KWP-Netze in Z-Mitte und D-Mitte nicht das gesamte Quartier erschließen → Direkter Vergleich nicht möglich!

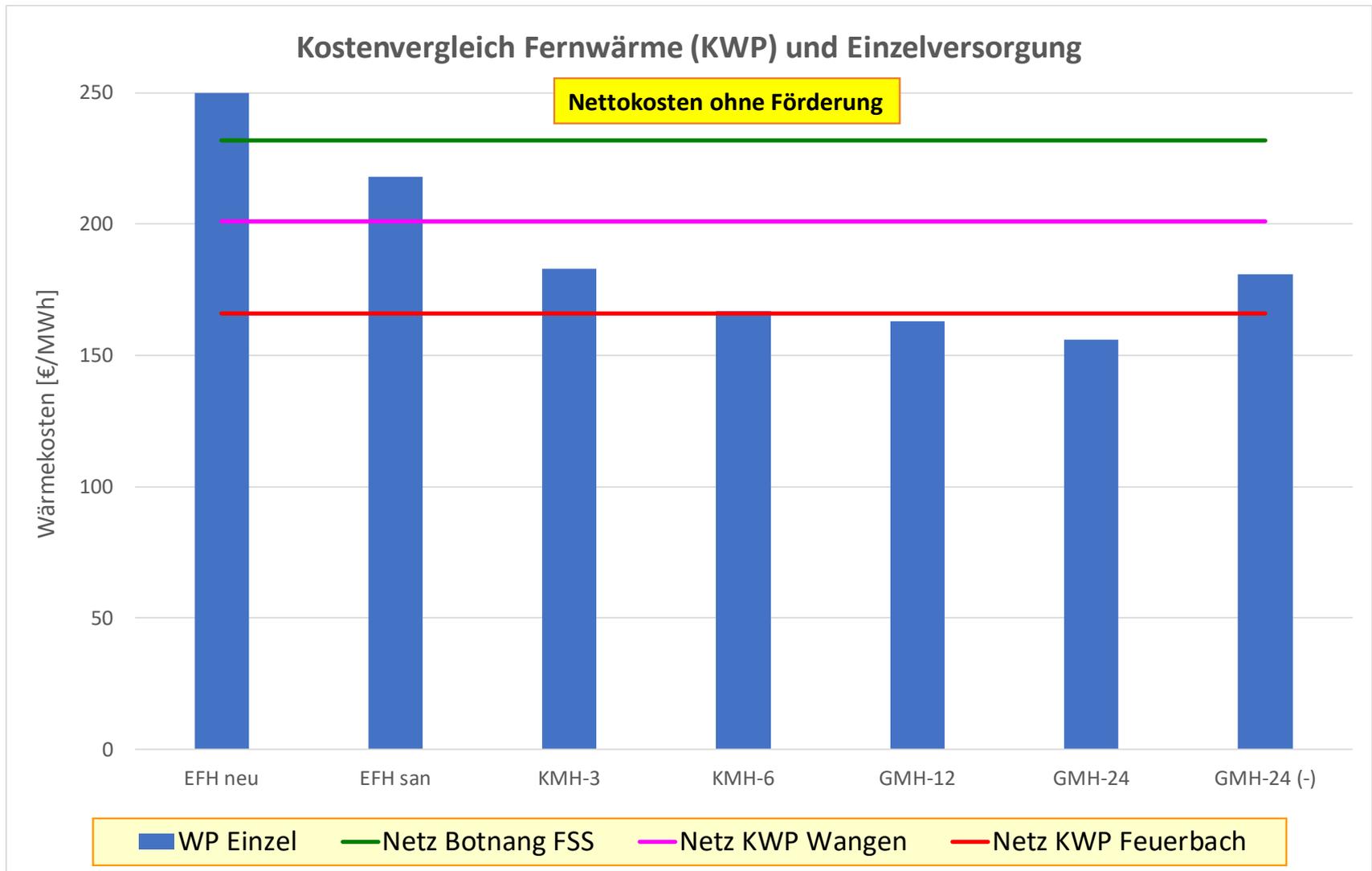
Weitere Vergleichsparameter für Hedelfingen und Botnang

Parameter	Hedelfingen		Botnang	
	Mitte ST Hedelfingen	Alternatives Netzgebiet	Franz-Schubert-Str.	Alternatives Netzgebiet
Fläche	13,9 ha Flurstückfl.	114 ha Arealfläche	3,5 ha Flurstückfl.	175 ha Arealfläche
Wärmeverbrauch 2035	9,1 GWh/a Endenergie	38 GWh/a Nutzenergie	3,0 GWh/a Endenergie	86 GWh/a Nutzenergie
Trassenlänge	11,5 km	28 km	4,5 km	44,5 km
Wärmeverteilkosten	89 €/MWh	58 €/MWh	104 €/MWh	50 €/MWh
Erzeugungskosten	101 €/MWh	75 €/MWh	117 €/MWh	75 €/MWh
Kosten Netzverluste	10 €/MWh	10 €/MWh	11 €/MWh	9 €/MWh
Fernwärmekosten	200 €/MWh	143 €/MWh	232 €/MWh	134 €/MWh

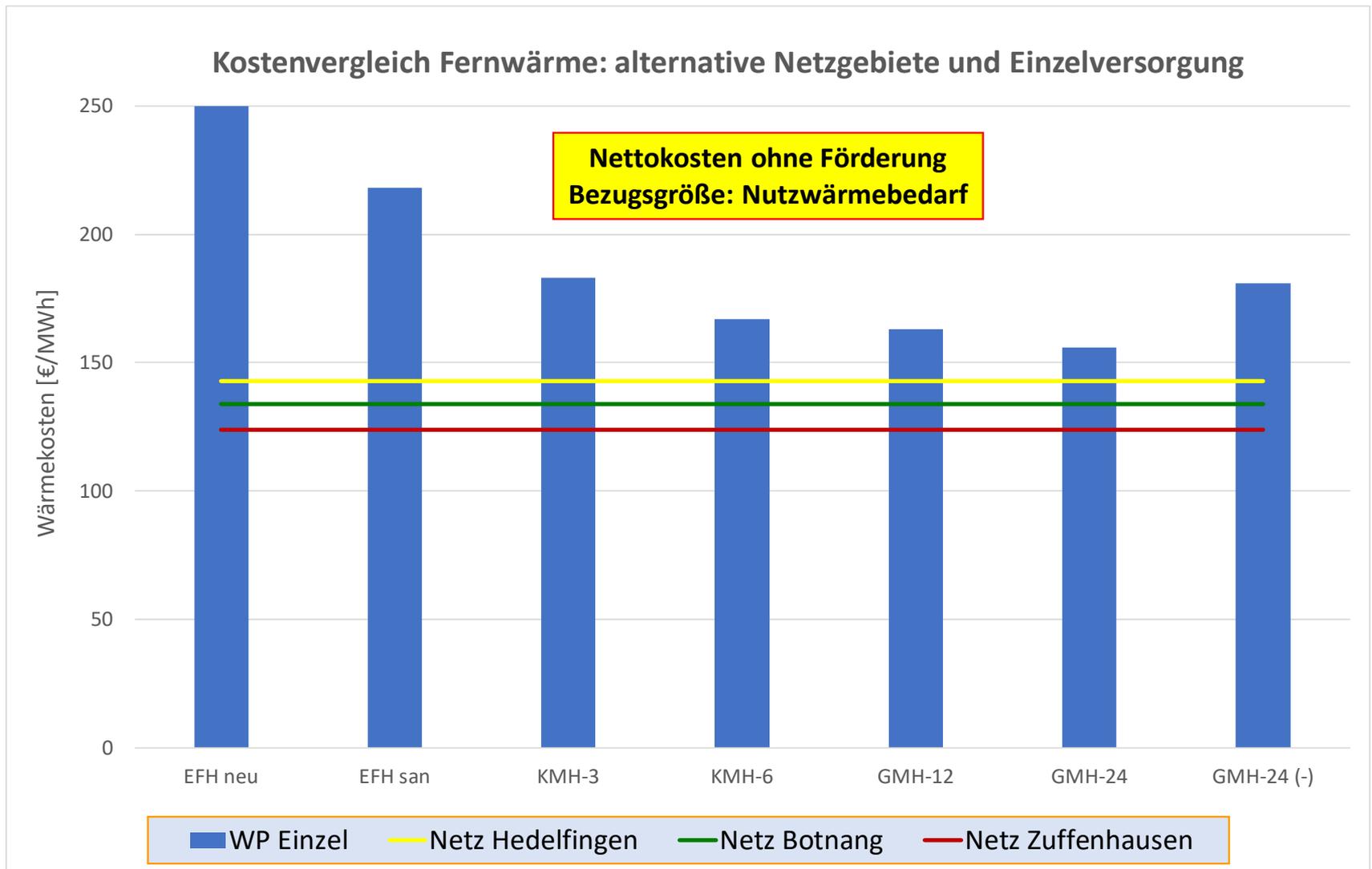
Zwischenfazit Wärmenetze

- Die Wärmeverteilungskosten gemäß alternativem Planungsansatz basieren auf denselben spezifischen Netzkosten wie im KWP. Sie beziehen sich außerdem auf den im Vergleich zur Endenergie kleineren Wert der Nutzenergie.
- Die Wärmeverteilungskosten der alternativen Netzgebiete sind in Hedelfingen um 35 % und in Botnang um 52 % geringer.
- Die entscheidende Frage ist dabei, in welchem Verhältnis die im KWP angegebenen Netzlängen zur Fläche des Quartiers und zum Wärmeverbrauch stehen (siehe Folien 30, 37 und 109).
- Bei den Erzeugungskosten beträgt der Unterschied zwischen KWP und großen Netzgebieten 26 % (Hedelfingen) und 36 % (Botnang).
- In den alternativen Netzgebieten macht sich die Kostendegression für Anlagen größerer Leistung bemerkbar.
- Die Fernwärmekosten gemäß alternativem Planungsansatz sind um 29 % bzw. um 42 % niedriger.

FW-Kosten im KWP im Vergleich zur Einzelversorgung



Fernwärmekosten der alternativen Netzgebiete und EV



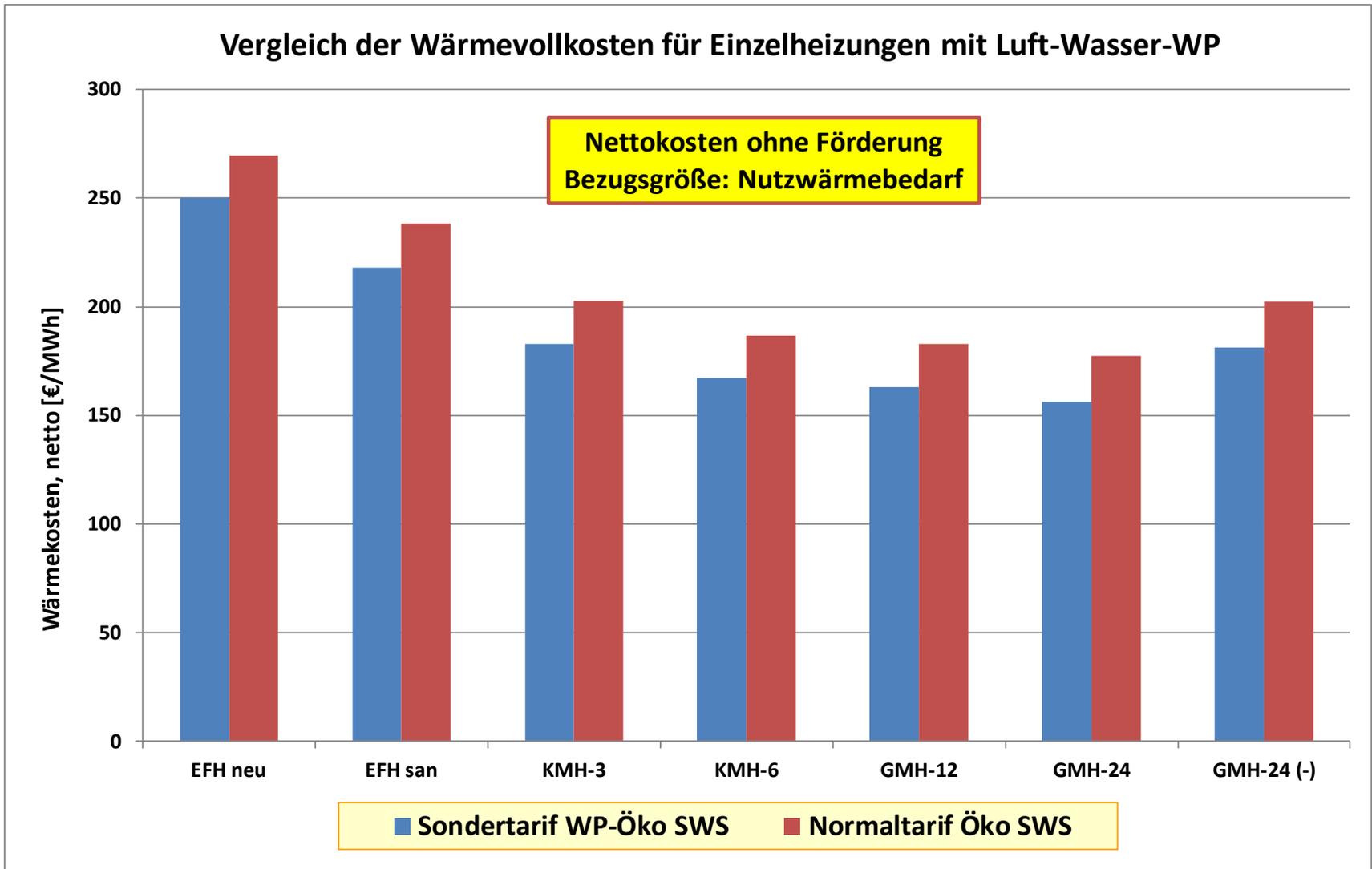
Zwischenfazit zum Vergleich Wärmenetze - Einzelversorgung

- Der Vergleich bezieht sich auf die Berechnung der Wärmevervollkosten für die Einzelversorgung gemäß Diagramm in Folie 76.
- Die Fernwärmekosten in Netzgebieten des KWP streuen sehr stark (Folie 111). Die Differenz zwischen dem niedrigsten Wert (Feuerbach) und dem höchsten (Botnang) beträgt 40 %.
- In den Netzen Wangen und Botnang FSS sind die Wärmevervollkosten der Einzelversorgung bei den Mehrfamilienhäusern geringer als die Fernwärmekosten (Folie 111).
- Die Differenz der Fernwärmekosten in den alternativen Netzgebieten beträgt lediglich 15 % (Folie 112).
- Die Fernwärmekosten gemäß alternativem Planungsansatz sind geringer als die Kosten der Einzelversorgung bei allen Gebäudetypen.
- **Damit ist die Aussage im Bericht S. 58 („...dass nur in wenigen Situationen die netzbasierte Versorgung die kostengünstigere Variante darstellt“) eindeutig widerlegt.**

Strompreise für dezentrale Wärmepumpen

- Betreiber von dezentralen Wärmepumpen profitieren derzeit vom Ökostrom-Sondertarif für Wärmepumpen der Stadtwerke Stuttgart.
- Er beträgt 27,45 ct/kWh (brutto) oder 23,1 ct/kWh (netto) und ist damit inklusive Mehrwertsteuer um 7,5 ct/kWh niedriger als der seit 1. Januar 2024 gültige allgemeine Ökostromtarif.
- Der Strombedarf für Wärmepumpen in Stuttgart ist derzeit jedoch noch gering. Er liegt laut Zielszenario für das Jahr 2023 bei rund 40 - 50 GWh/a (siehe Bericht S. 85).
- Wird jedoch die Einzelversorgung in dem Maße ausgebaut, wie im KWP vorgesehen, werden 2035 allein für dezentrale Wärmepumpen zwischen 500 und 600 GWh/a Strom benötigt.
- Die Frage ist, ob die Stadtwerke auch dann noch in der Lage sein werden, den günstigen Sondertarif für WP anzubieten.
- Sollte das nicht der Fall sein, erhöhen sich die Wärmeevollkosten dezentraler WP durchschnittlich um 20 €/MWh (siehe Folie 115)

Einfluss der Stromkosten auf die Wärmekosten von WP



Zusammenarbeit mit Betreibern bestehender Netze

Beispiel: Firma Porsche in Zuffenhausen

- Der Aufbau eines Wärmenetzes im Stadtbezirk Zuffenhausen muss in enger Abstimmung mit der Porsche AG erfolgen.
- Das Wärmenetz im Porsche-Areal, das mit Blockheizkraftwerken (BKHV) betrieben wird, bietet eine gute Grundlage für die Sektorenkopplung zwischen Strom und Wärme.
- Durch die Kopplung beider Netze, können die BHKW im Porsche-Netz in den flexiblen Betrieb überführt werden, um Residuallasten im Stromnetz abzudecken. Dafür müssen ausreichend große Pufferspeicher vorgehalten werden.
- Umgekehrt kann das Porsche-Werk mit Wärme aus dem Wärmenetz Zuffenhausen beliefert werden, wenn dort aufgrund des flexiblen BHKW-Betriebs zu bestimmten Zeiten Bedarf besteht.
- Die Initiative für diese Zusammenarbeit muss auf jeden Fall von der Stadt Stuttgart ausgehen.

Neckarwärme für den Stadtbezirk Zuffenhausen



Der Anschluss des Bezirks Zuffenhausen an eine Flusswasser-WP am Neckar ist genauso möglich wie der Bau und Betrieb der Fernwärmeleitung vom Neckarufer hoch nach Freiberg

Anmerkungen zum Thema Eigentümerstrukturen

- Um während der Zonierung des Siedlungsgebietes das maximale Wärmenetzpotenzial vor Ort auszuschöpfen, dürfen keine Gebiete zu früh ausgeschlossen werden.
- Bei Häusern mit vielen Eigentümern handelt es sich oftmals um große Mehrfamilienhäuser (WEG), die viel Wärme aus dem Netz abnehmen würden. Dabei stehen häufig mehrere oder sogar viele Gebäude in direkter Nachbarschaft.
- Diese Struktur hat hohe Wärmedichten zur Folge was insgesamt niedrigere Wärmekosten nach sich zieht.
- Werden Mehrfamilienhäuser von WEG schon bei der Wärmeplanung ausgeschlossen, entfällt für diese die Option, von kostengünstiger klimaneutraler Fernwärme zu profitieren.
- Großräumige Wärmenetze bieten generell mehr Möglichkeiten, räumlich verteilte und kostengünstige Wärmequellen (wie z. B. direkte Nutzung von Abwärme) einzubinden.

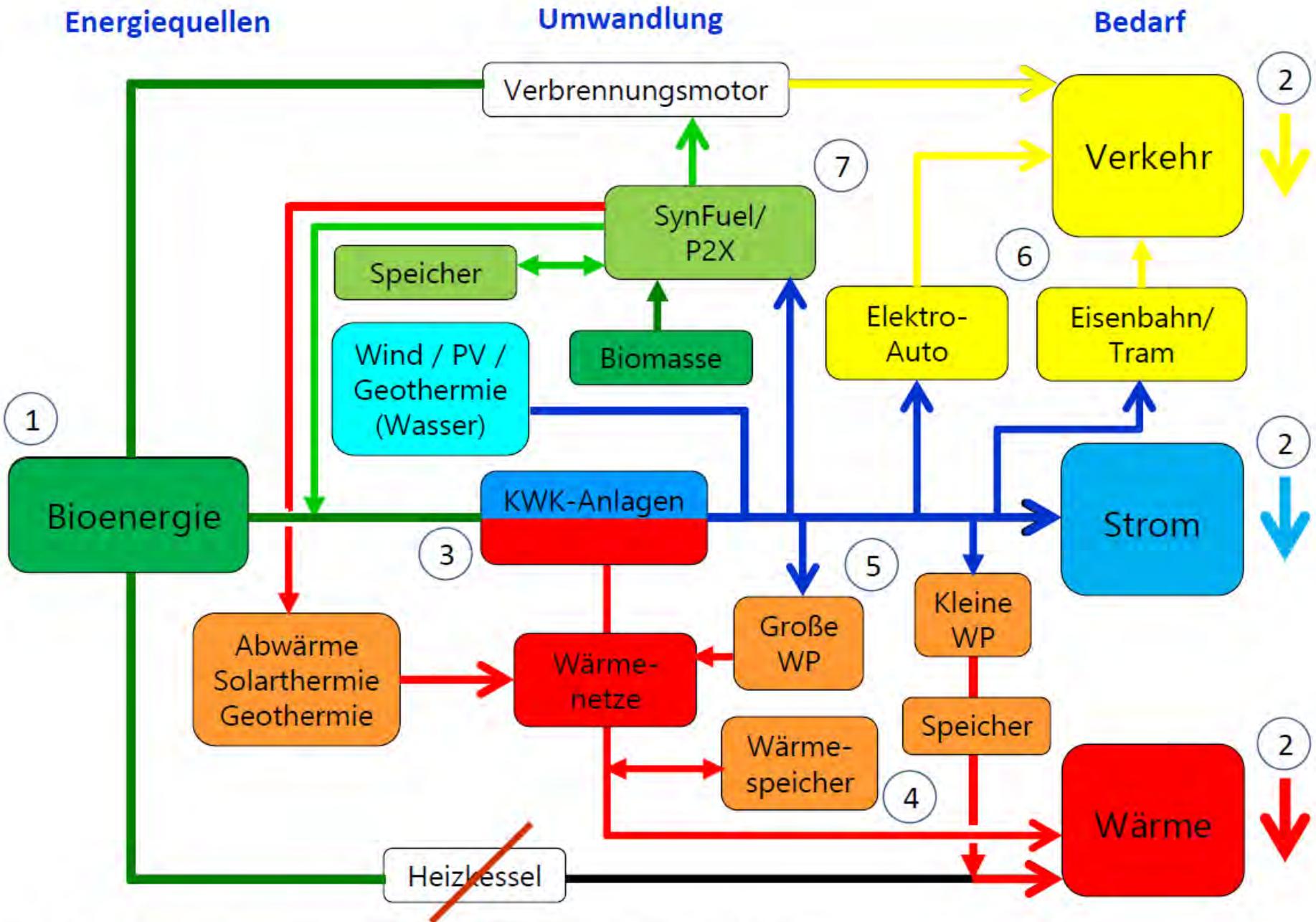
Vorgehensweise bei der Festlegung der Eignungsgebiete

- Wenn die Grenzen der Netzeignungsgebiete ausgehend von der gesamten Siedlungsfläche her ermittelt werden, ergeben sich mehr Möglichkeiten, passende Standorte für Energiezentralen zu finden. Der Blick in die Gewerbegebiete sollte dabei immer Vorrang haben, da eine Energiezentrale für ein ausgedehntes Wärmenetz meistens besser in diese Umgebung passt.
- Für die Einbindung erneuerbarer Wärmequellen wie Flusswasserwärme und Freiland-Solarthermie ergeben sich bei dieser Vorgehensweise ebenfalls mehr Optionen.
- Die Umsetzung erfolgt schrittweise durch Aufteilung in Einzelprojekte, die im Laufe der Zeit zu einem großen Wärmeverbund zusammenwachsen. Dieser ist in der Regel durch mehrere Einspeisepunkte gekennzeichnet.
- Die dafür erforderliche Regelungstechnik ist mittlerweile bereits vorhanden und wird sich in Zukunft noch weiter entwickeln.

Integrierte Wärmeversorgung – Stuttgarts Beitrag zum Smart Energy System der Zukunft

Was bedeutet der Begriff Smart Energy System?

- Das Energiesystem der Zukunft ist durch eine starke Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Transport (Verkehr) gekennzeichnet.
- Wird sektorenübergreifend konzipiert und geplant, entsteht ein integriertes System oder Smart Energy System (SES).
- Der Begriff Smart Energy System grenzt sich ab vom Smart Grid, bei dem der Fokus überwiegend auf das Stromnetz gerichtet ist.
- Im SES werden keine teuren Stromspeicher für die Langzeitspeicherung von Elektrizität benötigt. Zur Unterstützung der Frequenzregelung und zum Ausgleich von Kurzeitschwankungen können u. a. Batterien eingesetzt werden.
- Thermische Speicher als Bestandteil der Wärmenetze tragen zur Flexibilität und Versorgungssicherheit des Gesamtsystems bei.
- Die Systemdienlichkeit von Wärmenetzen leistet einen wichtigen Beitrag zur Optimierung des Gesamtsystems.



Weitere Erläuterungen zum Smart Energy System?

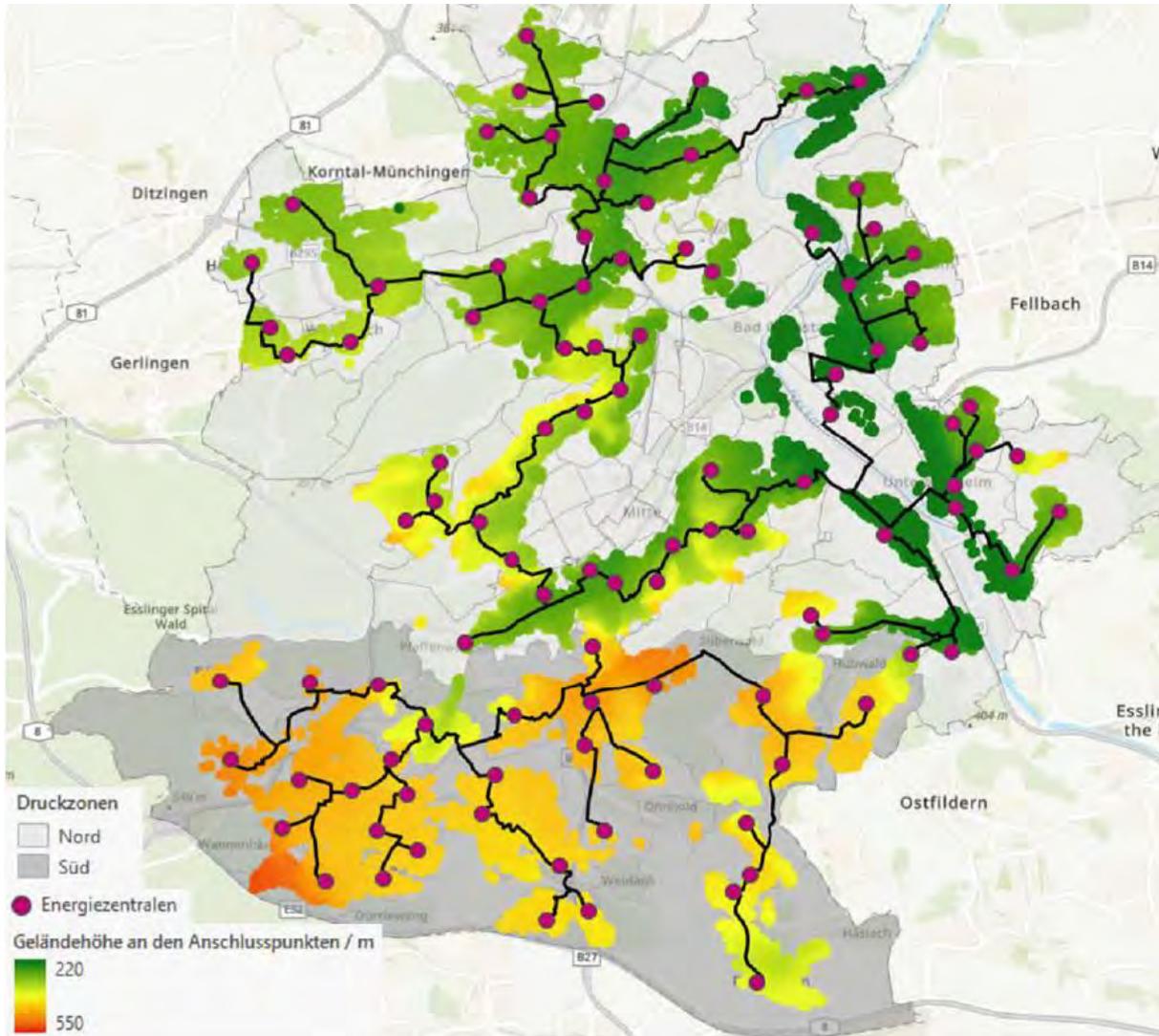
- Die Grafik in Folie 122 zeigt beispielhaft, wie die Struktur eines Smart Energy System dargestellt werden kann.
- Eine andere Art der Visualisierung, zugeschnitten auf das Programm EnergyPlan, das von der Universität Aalborg für die Energiesystemanalyse entwickelt wurde, ist zu finden unter: <https://www.energyplan.eu/getstarted/>
- Ein wesentlicher Unterschied zum Energiesystem, das ausschließlich auf fossilen Energien basiert, ist die komplexe Struktur im Bereich der Energieumwandlung. Dies ist eine Folge der erforderlichen Sektorenkopplung
- Weitere Quellen zu diesem Thema sind: <https://heatroadmap.eu/project/>; <https://www.4dh.eu/> <https://www.seenergies.eu/>
- Maßnahmen, die in Stuttgart zu einem Smart Energy System beitragen können, werden im Folgenden dargestellt.

Volle Ausschöpfung des Potenzials für neue Wärmenetze

Wärmenetze	Trassenlängen
Hauptleitungen neue Netze (Ramboll-Studie)	890 km
Hausanschlussleitungen neue Netze (Ramboll-Studie)	770 km
Transportleitungen neue Netze (Ramboll-Studie)	140 km
Summe Trassenlängen neue Netze (Ramboll-Studie)	1.800 km
Trassenlänge EnBW-Netz bei 100 % AG (Ramboll-Studie)	420 km
Trassenlänge kleinere bestehende Netze (eigene Schätzung)	50 km
Aufsummierte Trassenlänge für die gesamte Stadt	2.270 km

- Gemäß Ramboll-Studie besteht in Stuttgart ein technisches Potenzial für neue Wärmenetze von rund 1.800 km Trassenlänge (s. Tabelle).
- Der alternative Planungsansatz inklusive der Kostenrechnungen hat gezeigt, dass große Teile dieses Netzpotenzials genutzt werden können. Annahme: 80 % – 90 % oder 1.500 km bis 1.600 km.
- **Dieses Potenzial muss in Stuttgart ausgeschöpft werden!**

Konzeption von zwei Netzgebieten: Nord und Süd



Im Abschnitt flächendeckende Versorgung schlägt Ramboll vor, die neuen Netze in zwei Netzgebiete aufzuteilen. Dies ist wegen der erheblichen Höhenunterschiede zwischen der Filderebene und den restlichen Teilen der Stadt auf jeden Fall sinnvoll.

Quelle: Ramboll-Studie Klimaneutrale Fernwärme in Stuttgart; S. 38

Kopplung und Integration der Teilnetze in den Netzgebieten

- Die Teilnetze, die sich aus dem alternativen Planungsansatz ergeben, erstrecken sich jeweils über weite Teile der einzelnen Stadtbezirke.
- Um ein leistungsfähiges System der Wärmeversorgung mit hoher Versorgungssicherheit zu entwickeln, müssen die einzelnen Teilnetze mit Hilfe von Transportleitungen miteinander verbunden werden.
- In diesen Verbund müssen auch das Fernwärmenetz der EnBW und die anderen bestehenden Netze integriert werden.
- Nur so wird es möglich sein, die Potenziale der erneuerbaren Energien und der Abwärme vollständig und umfassend zu nutzen.
- Die Kopplung ist außerdem Voraussetzung dafür, um das gesamte System intelligent (smart) und resilient zu gestalten.
- Eine sehr wichtige Rolle spielen dabei die thermischen Speicher in den einzelnen Teilnetzen.

Bau eines großen thermischen Speichers in Stuttgart



Quelle: <https://www.openstreetmap.org/#map=16/48.7856/9.2283>

Integration eines thermischen Großspeichers

- Die Freifläche nordwestlich des Heizkraftwerks Stuttgart-Gaisburg, die auch den ehemaligen Kohlelagerplatz umfasst, bietet Platz für einen großen Erdbeckenspeicher.
- Nach ersten Abschätzungen dürfte das Gelände den Bau eines Speichers mit einem Volumen zwischen 100.000 und 200.000 m³ ermöglichen.
- Ein großer thermischer Speicher als Teil des integrierten Wärmeversorgungssystems bietet mehrere Vorteile:
 - ✓ Optimierung der Stromerzeugung in den flexibel betriebenen Kraftwerken in Relation zum Strommarkt
 - ✓ Höhere Wärmeerzeugung von kostengünstigen Einheiten wie KWK-Anlagen und Großwärmepumpen
 - ✓ Größere Energieproduktion im Müllheizkraftwerk Münster während der Sommermonate
- Ein Beispiel für einen derartigen Großspeicher befindet sich im Fernwärmenetz Hoje Taastrup im Großraum Kopenhagen.

Beispiel: Bau des Großspeichers in Høje Taastrup



Quelle: Sørensen, P. A. et. al.: FLEX_TES - Design and Construction of the Pit Thermal Energy Storage in Høje Taastrup. Final Report. PlanEnergi, 2023.

Ausschöpfung der Potenziale von EE und Abwärme

- Im Diagramm auf Folie 55 wird dargestellt, dass die Potenziale für die Freiland-Solarthermie, die Flusswärme aus dem Neckar sowie die Abwärme aus den Kläranlagen in Stuttgart entweder gar nicht oder nur zum geringen Teil ausgeschöpft werden sollen.
- Der Grad der Nutzung der Potenziale bei oberflächennaher Geothermie und der Abwärme aus Abwasserkanälen kann nicht ermittelt werden, da keine Quantifizierung der Potenziale vorliegt.
- Im Fall der industriellen Abwärme wird das Restpotenzial, das nach unternehmensinterner Nutzung von Abwärme immer noch zur Verfügung steht, nicht berücksichtigt.
- **Aufgrund dessen ist die volle Ausschöpfung der Potenziale der erneuerbaren Energien und sämtlicher Quellen von Abwärme ein weiterer wichtiger Beitrag zum Smart Energy System in Stuttgart!**

Abwärmennutzung aus Elektrolyseuren

- Große Elektrolyseure zur Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbarem Strom weisen Wirkungsgrade im Bereich von 70 bis 75 % auf.
- Die gleichzeitig entstehende Abwärme liegt auf einem Temperaturniveau von rund 60°C.
- Aufgrund dieser Randbedingungen ist die Wasserstoffproduktion in Stuttgart bzw. im Fernwärmenetz der EnBW ebenfalls ein wichtiger Bestandteil der zukünftigen Wärmeversorgung.
- Die in den Elektrolyseuren entstehende Abwärme ist somit eine weitere wichtige Wärmequelle für die Einspeisung in Wärmenetze.
- Da große Elektrolyseure immer dann in Betrieb gehen, wenn die Strompreise niedrig sind (hohes Angebot von Wind- und Solarstrom), spielen die thermischen Speicher der Wärmenetze auch in diesem Fall eine wichtige Rolle bei der Optimierung des Betriebs.

Notwendige Schritte bis Mitte 2026

- Grundlegende Überarbeitung des kommunalen Wärmeplans für Stuttgart unter Berücksichtigung der folgenden Randbedingungen:
 - ✓ Volle Ausschöpfung des Potenzials für neue Wärmenetze (Trassenlänge für neue Netze mindestens 1.500 km)
 - ✓ Volle Ausschöpfung des Potenzials der erneuerbaren Energien und des Potenzials aller Arten von Abwärme
 - ✓ Aufbau eines integrierten Wärmeversorgungssystems gemeinsam mit den bestehenden Wärmenetzen inklusive der EnBW-Fernwärme
- Systematische Suche nach Standorten für Großwärmepumpen, Freiland-Solarthermie und großen Elektrolyseuren sowie den dazu notwendigen Energiezentralen inklusive der thermischen Speicher.
- Technische und organisatorische Vorbereitung der Integration der bestehenden Wärmenetze in die Netzgebiete Nord und Süd.
- Überarbeitung des Wärmeplans bis spätestens zum 30.06.2026 (Vorgabe durch das Wärmeplanungsgesetz des Bundes für Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern).

9. Abschnitt

Anhang

Nummerierung der Quartiere mit neuen Wärmenetzen

1	Bad Cannstatt - Birkenäcker
2	Bad Cannstatt - Mitte
3	Bad Cannstatt - Neckarpark
4	Bad Cannstatt - Seelberg
5	Bad Cannstatt - Steinhaldenfeld
6	Bad Cannstatt - Winterhalde
7	Botnang - Franz-Schubert-Straße
8	Degerloch - Mitte
9	Degerloch - Waldau
10	Feuerbach - Ost
11	Feuerbach - Wiener Platz
12	Feuerbach
13	Hedelfingen
14	Mitte - Lehen+Dobel
15	Möhringen - Fasanenhof
16	Möhringen - Mitte
17	Möhringen - Synergiepark
18	Mühlhausen - Hofen
19	Mühlhausen
20	Münster 2050
21	Münster
22	Nord - Bürgerhospital

23	Obertürkheim
24	Ost - Berg
25	Ost - Gablenberg
26	Ost - Gaisburg
27	Ost - Ostheim
28	Plieningen
29	Sillenbuch - Heumaden-Süd
30	Stammheim - Süd
31	Süd - Heschlach
32	Untertürkheim
33	Vaihingen - Dürrolewang
34	Vaihingen - Mitte
35	Wangen
36	Weilimdorf - Giebel
37	Weilimdorf - Hausen
38	Weilimdorf - Mitte
39	West - Bebelstraße
40	Zuffenhausen - Böckinger Straße
41	Zuffenhausen - Rotweg
42	Zuffenhausen - Stadtbad
43	Zuffenhausen - Mitte

Randbedingungen: Wärmeverteilkosten für Wärmenetze

Parameter	Wert
Laufzeit Kapitalflussrechnung	30 a
Kalkulationszinsfuß	3 %
Trassenlänge (KWP/Alternative Potenziale)	KWP-S/Hotmaps+ANSWER
Spezifische Netzkosten (inkl. HÜS)	KWP-S
Zeitliche Entwicklung Wärmeverbrauch	KWP-S
Jahr der Inbetriebnahme Wärmenetz	KWP-S
Anschlussgradiententwicklung über 15 Jahre	60 – 97 %
Kosten für Wartung & Instandhaltung	2,0 €/MWh
Anteil Pumpenstrom an Wärmelieferung	1,5 %
Kosten für Pumpenstrom	0,2 €/MWh
Berechnete Wärmeverteilkosten: netto, ohne Förderung	

Randbedingungen: Wärmeerzeugungskosten im KWP-S

Parameter	Wert
Laufzeit Kapitalflussrechnung	20 a
Kalkulationszinsfuß	3 %
Wärmequellen und Anlagentechnik	KWP-S
Kosten für Energiezentrale	KWP-S
Zeitliche Entwicklung Wärmeverbrauch	KWP-S
Jahr der Inbetriebnahme Wärmenetz + EZ	KWP-S
Anschlussgradiententwicklung über 15 Jahre	60 – 97 %
Kosten Wartung & Instandhaltung	1 % p. a. (Invest)
Mittlere Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	3,2
Mittlere Kosten für Wärmepumpenstrom	0,15 €/MWh
Berechnete Wärmeerzeugungskosten: netto, ohne Förderung	

Randbedingungen: Wärmeerzeugungskosten Groß-WP

Parameter	Wert
Laufzeit Kapitalflussrechnung	20 a
Kalkulationszinsfuß	3 %
Spez. Investitionskosten (leistungsabhängig)	870 - 930 €/kW
Betriebsgebäude, etc. (bezogen auf Invest)	5 - 7 %
Planungskosten (bezogen auf Investition)	9 %
Einfluss Wärmedämmung auf Energielieferung	KWP-S
Anschlussgradiententwicklung über 15 Jahre	60 – 97 %
Kosten Wartung & Instandhaltung (variabel)	1,7 €/MWh
Kosten Wartung & Instandhaltung (fix)	2.000 €/MW
Mittlere Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	3,4
Mittlere Kosten für Wärmepumpenstrom	0,15 €/MWh
Berechnete Wärmeerzeugungskosten: netto, ohne Förderung	

Randbedingungen: Wärmevervollkosten dezentrale WP

Parameter	Wert
Nutzungsdauer Annuitätenrechnung	18 a (KEA-BW)
Zinssatz Annuitätenrechnung	3 %
Anteil Energieerzeugung Luft-Wasser-WP	95 %
Anteil Energieerzeugung elektr. Heizstab	5 %
Jahresarbeitszahl (JAZ) Luft-Wasser-WP	3,5
JAZ Heizstab / Resultierende JAZ	1,0 / 3,11
Spez. Investitionskosten (bezogen auf WP-Leistung)	ab 2.700 €/kW
Kosten Wartung & Instandhaltung	Technikkatalog KEA-BW
Kosten für Wärmepumpenstrom (Tarif Öko SWS)	23,3 €/MWh (netto)
Berechnete Wärmevervollkosten: netto, ohne Förderung	

Quellenverweise

Integriertes Quartierskonzept Stuttgart-Botnang

Quelle IQK Botnang: Böhnisch, H.; Bieber, H.: Integriertes Quartierskonzept für das Sanierungsgebiet Botnang 1 – Franz-Schubert-Straße – Energetische Stadtsanierung KfW-Programm 432 (Phase A). Untersuchung der KEA-BW im Auftrag des Amts für Stadtplanung und Stadterneuerung der Landeshauptstadt Stuttgart. Karlsruhe, Dezember 2016 und Ergänzungen 2017.

Forschungsprojekt ANSWER-Kommunal

- An mehreren Stellen dieser Stellungnahme wird auf den Ergebnisbericht des Projekts ANSWER-Kommunal verwiesen
- Bei Bedarf kann dieser Bericht von der Homepage der KEA-BW unter folgendem Link heruntergeladen werden:

https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Waermewende/Wissensportal/ANSWER-Kommunal_Ergebnisbericht.pdf

Danish Board of District Heating (DBDH): Bündelt das Know-how der Fernwärmebranche in Dänemark und ist vorwiegend international aktiv. DBDH gibt u. a. das Fachmagazin HOT COOL heraus, organisiert Webinare zu verschiedenen Fachthemen und war Partner im Deutsch-Dänischen-Dialog Wärmenetze in BW (<https://dbdh.dk/>).