

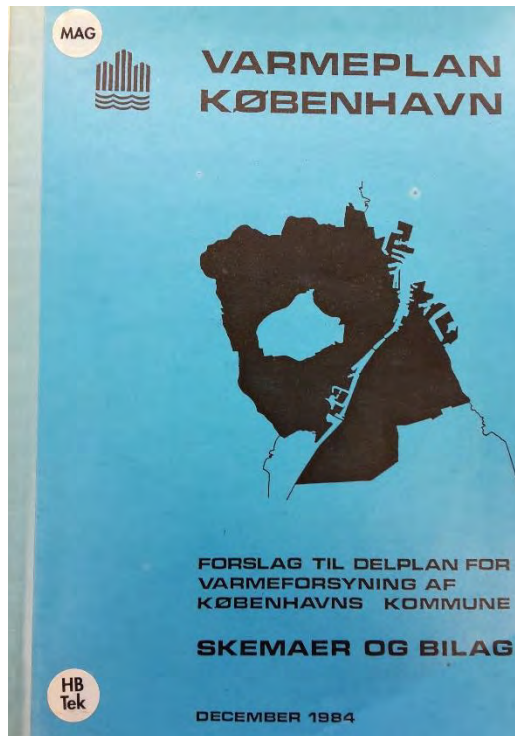
Wärmewende in Sillenbuch – ein alternativer Planungsansatz

Helmut Böhnisch

Diskussionsabend – Wärmewende in Sillenbuch
26. April 2024



Stuttgart: 39 Jahre später als die Stadt Kopenhagen...



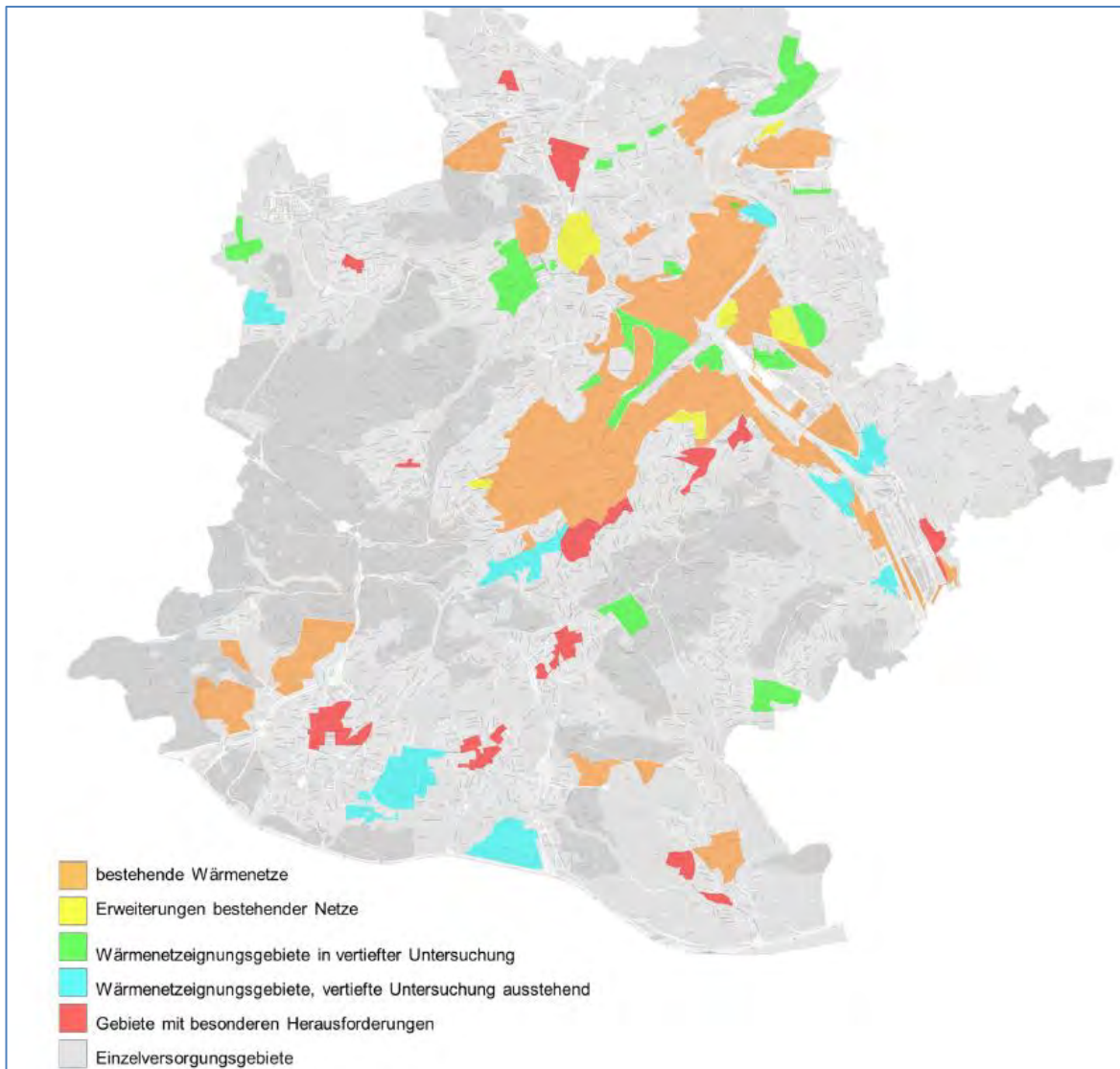
ca. 1 Million Einwohner
6.000 km Verteilleitungen
160 km Transportleitungen
Integriertes FW-System
25 FW-Gesellschaften
Dynamische Entwicklung



ca. 600.000 Einwohner
ca. 330 km Verteilleitungen
9 verschiedene Netze
Keine Integration
Jahrzehntelanger Stillstand

Wie geht es weiter?

Ergebnis der kommunalen Wärmeplanung: Neue Netzgebiete



43 Eignungsgebiete für neue Wärmenetze. Davon sechs Gebiete zur FW-Erweiterung

EnBW-Fernwärme

8 weitere Bestandsnetze

Quelle: Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 68

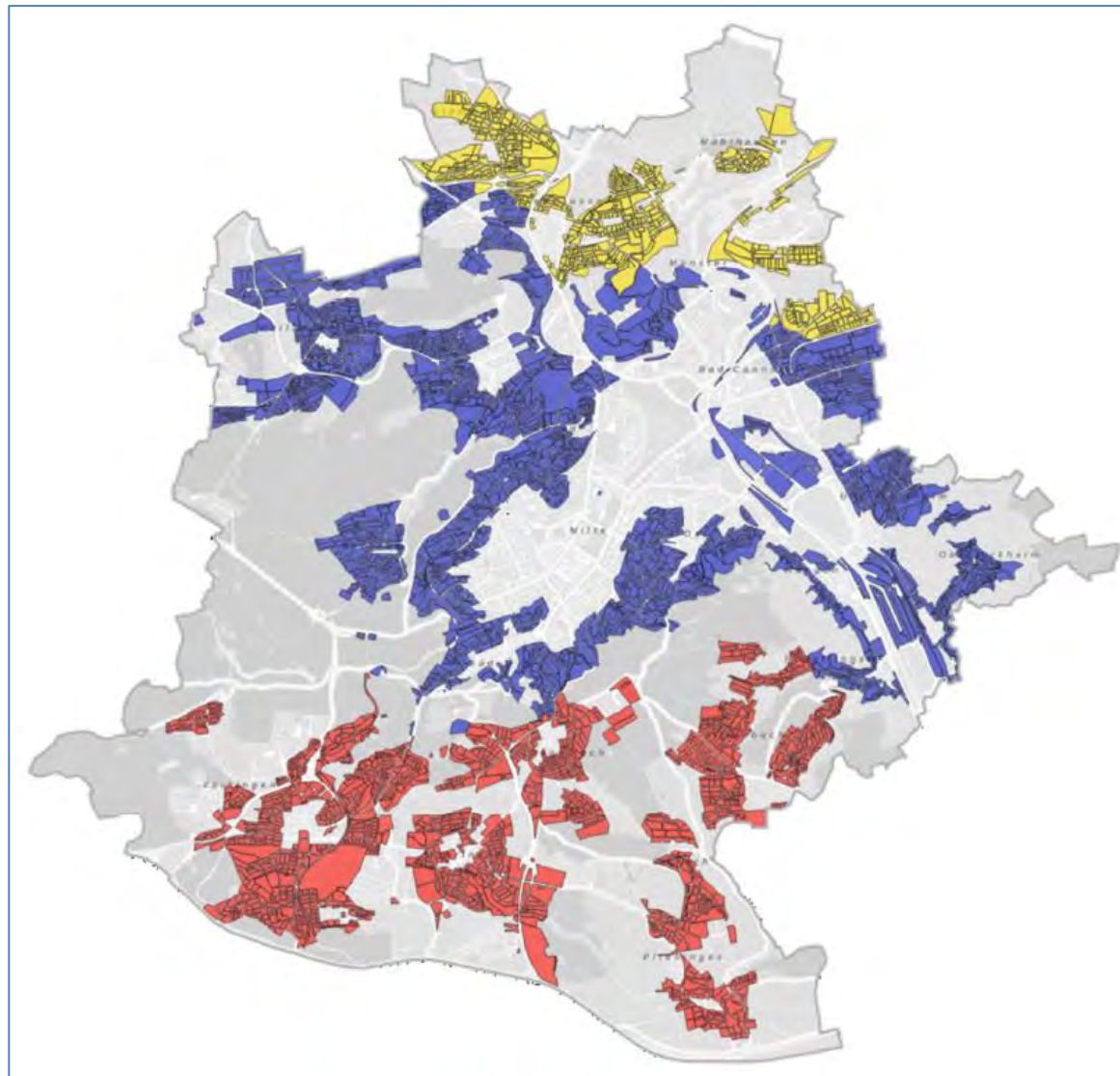
Ziele zum Ausbau der Wärmenetze für 2035 im KWP

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 der SWS

Ergebnis der kommunalen Wärmeplanung: Einzelversorgung



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

Keine Angaben zur Anzahl
der Gebäude im Gebiet
der Einzelversorgung

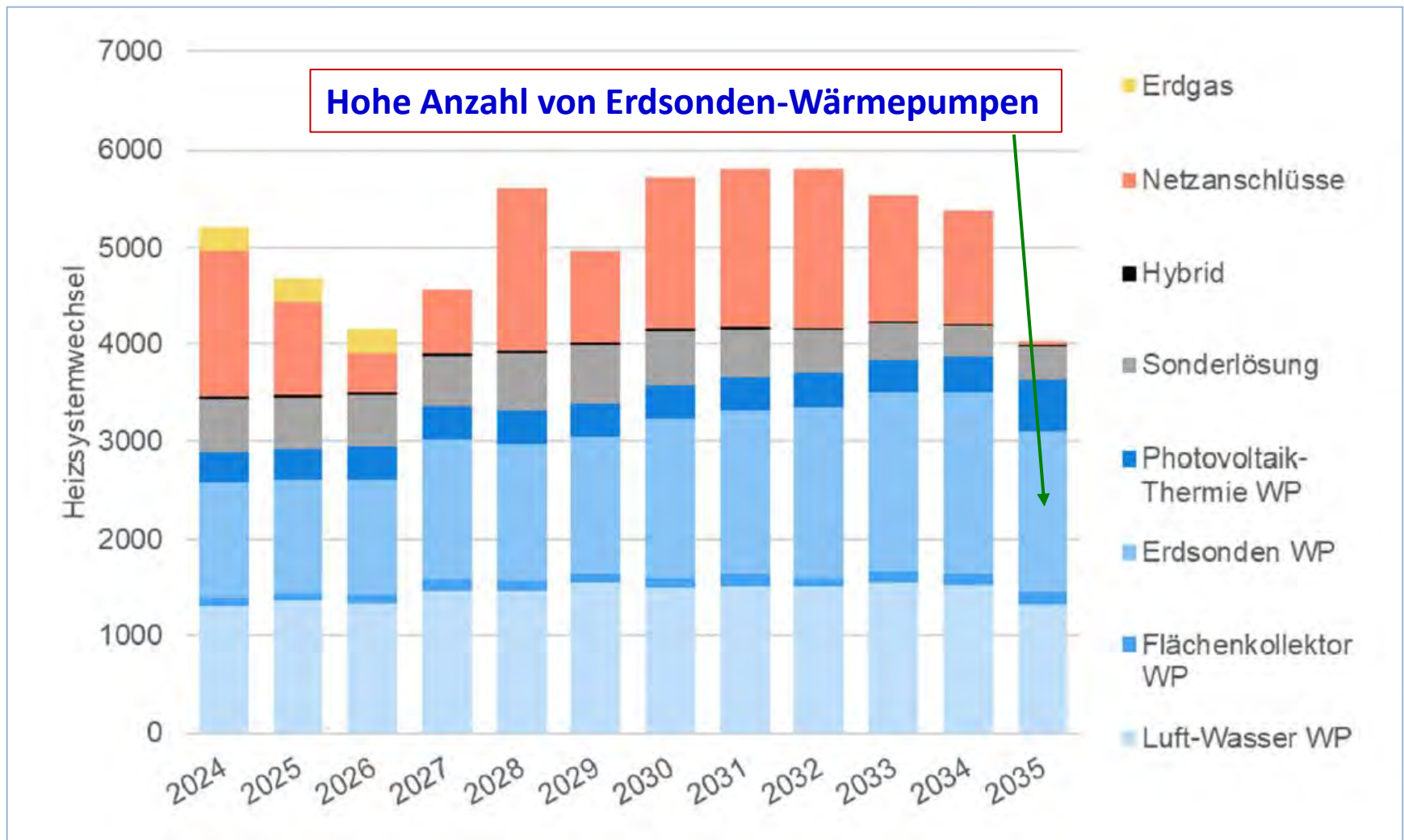
Quelle: Bericht Kommunale
Wärmeplanung 2023; S. 69

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

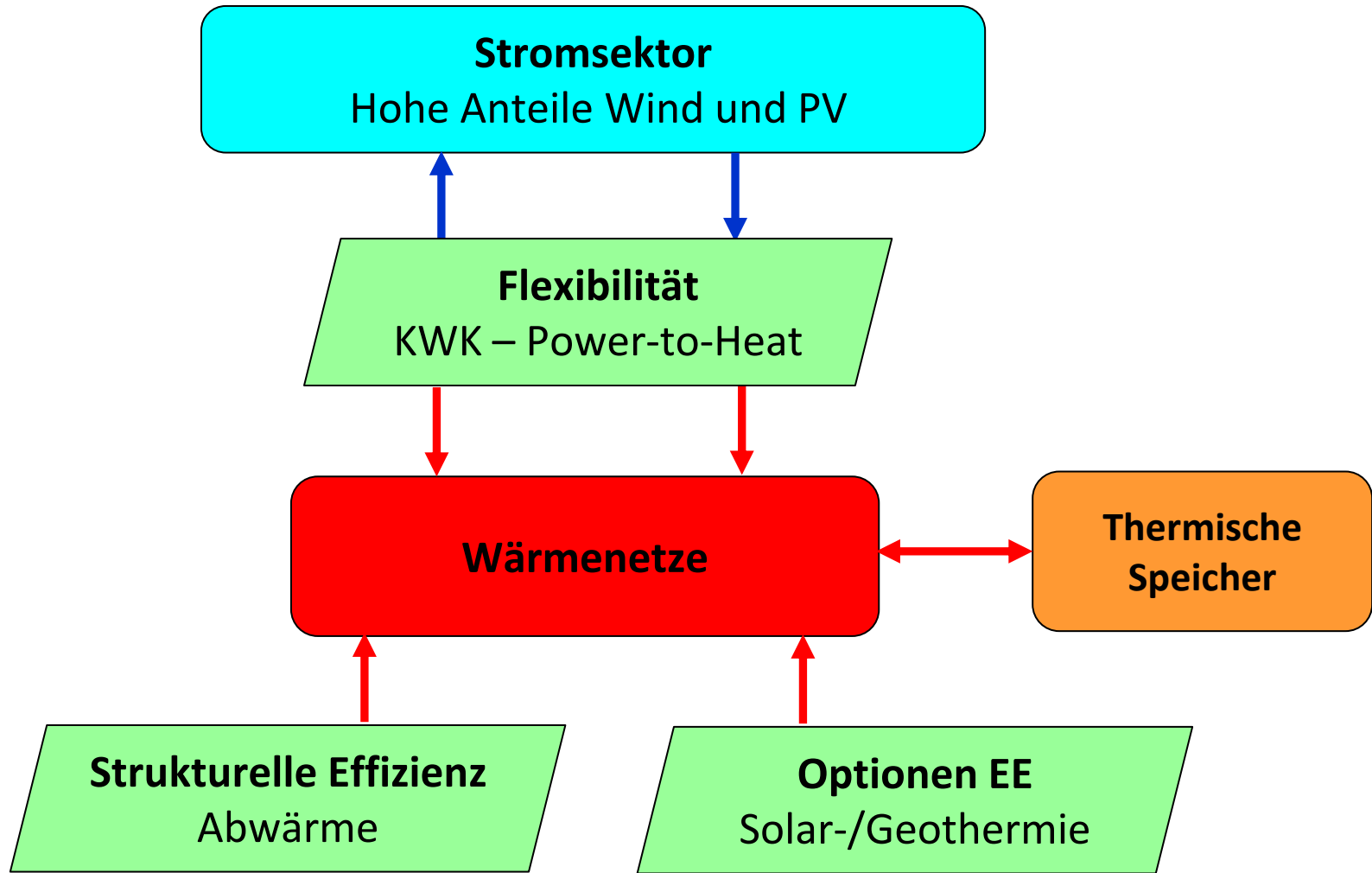
¹⁾ Auswertung auf der Grundlage der Daten in den Quartiersteckbriefen

Jährliche Heizsystemwechsel (dezentral) im Zielszenario



Quelle: Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 90

Systemeinbindung von Wärmenetzen und Speichern



Systemdienlichkeit von Wärmenetzen

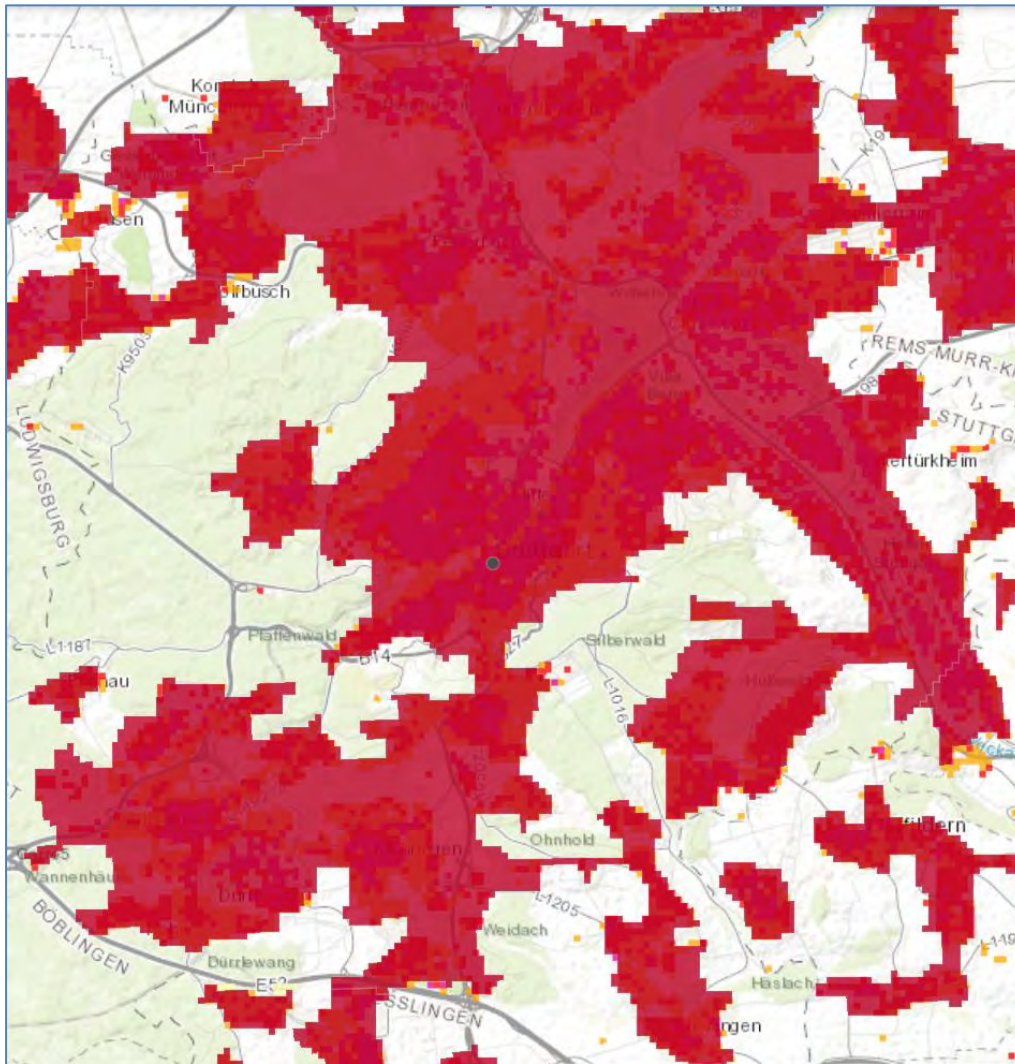
Technologieoffenheit und Effizienz

- Alle Arten erneuerbarer Energien mit allen verfügbaren Techniken
- Alle Arten von Abwärme entweder direkt oder indirekt über Wärmepumpen
- Fünfmal effektivere Nutzung von erneuerbarem Strom als beim Einsatz von regenerativem Wasserstoff in der Gebäudeheizung

Flexibilität und Stabilität im Energiesystem

- Wärmenetze und große thermische Speicher bieten die Möglichkeit, das Stromnetz an kalten Wintertagen zu entlasten
- Großwärmepumpen und Elektrokessel werden dann eingeschaltet, wenn das Stromangebot hoch ist (Power-to-heat)
- Flexibel betriebene KWK-Anlagen stellen dagegen die Residuallast bereit (Bei geringem Angebot von Sonne und Wind)

Konsequenz für die Wärmeplanung: Alle Wärmenetz-Potenziale müssen genutzt werden



Im Forschungsprojekt **sEEnergies** wurde für Stuttgart ein Fernwärmepotenzial von über 90% für das gesamte Stadtgebiet ermittelt.

<https://www.seenergies.eu/>

Quelle: <https://euf.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8d51f3708ea54fb9b732ba0c94409133>

Vorgehensweise beim Kommunalen Wärmeplan Stuttgart

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 im KWP

- Wärmedichte: Bezugsfläche sollte auch die Verkehrsflächen umfassen und nicht nur die Flurstückfläche
- Verhältnis Verbrauch WG/NWG: Zielt auf die Vermeidung von Lastspitzen →
Lösung: Spitzenlasterzeugung mit Elektrokesseln in Netzen technisch möglich (möglichst geringer Anteil am Jahreswärmebedarf)
- 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
- Anteil Verbrauch erneuerbarer Energieträger: Anteil der bereits installierten Wärmepumpen zur Einzelversorgung → Problemlösung: Entwicklung eines lokalen Marktes für gebrauchte Wärmeerzeuger

→ Große Teile des Stadtgebiets außerhalb der EnBW-FW werden sofort aussortiert!

100



25 MWh/ha
100 MWh/ha
500 MWh/ha
1000 MWh/ha
2000 MWh/ha
5000 MWh/ha
>5000 MWh/ha

Siedlungsgebiet des Stadtbezirks Sillenbuch



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

Alternativer Planungsansatz: Bezirk Zuffenhausen (Beispiel)



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

Siedlungsgebiet ohne Porsche-Areal

Wärmebedarf, Ausdehnung und mittlere Wärmedichte

Alternativer Planungsansatz: Berechnungen für vier Stadtbezirke

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
Sillenbuch	311 ha	174 GWh/a	561 MWh/ha*a

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

Eckdaten zu den Wärmenetzen in den vier Bezirken

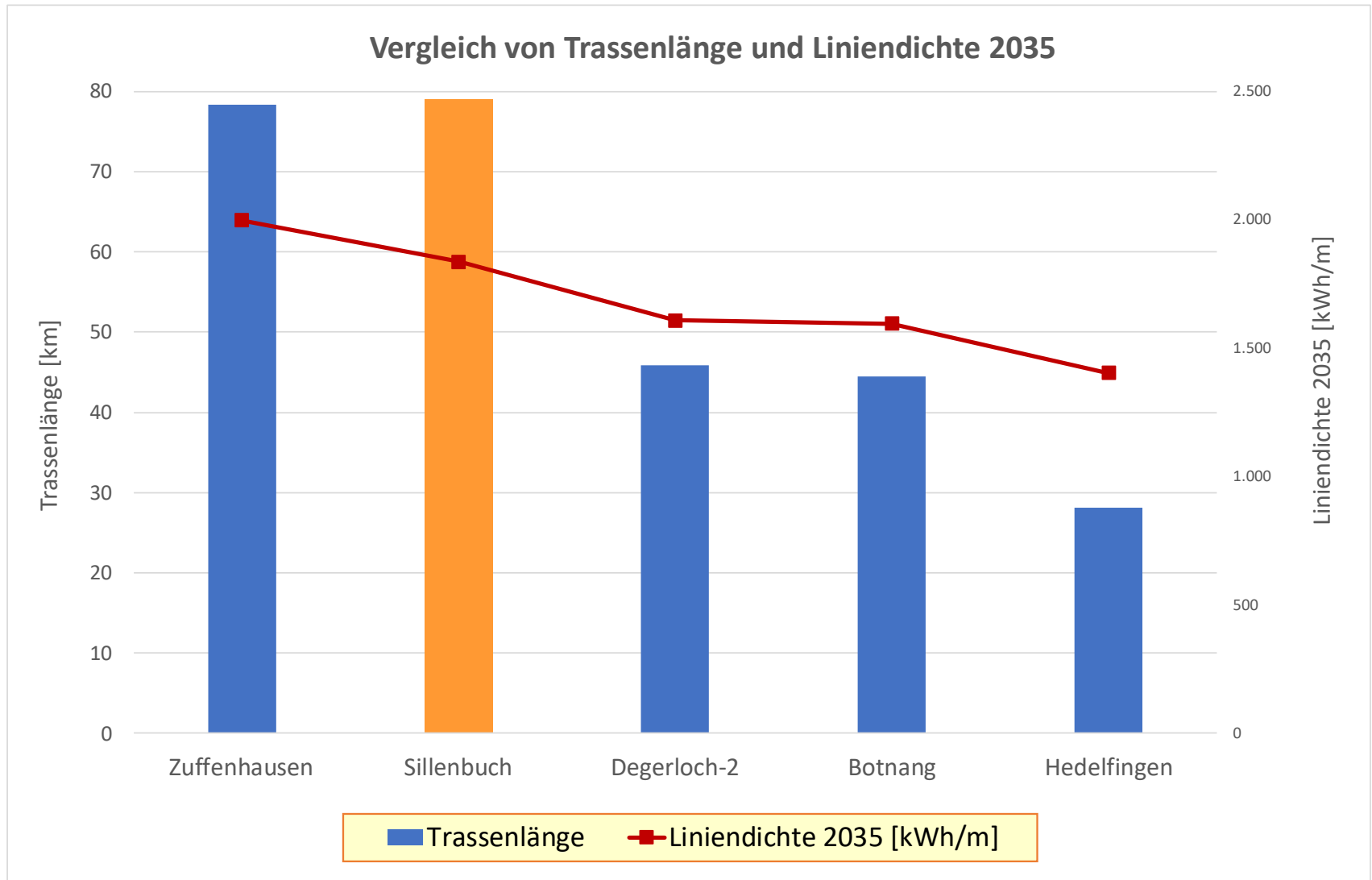
Parameter	Zuffenhausen	Botnang	Hedelfingen	Degerloch-2
Trassenlänge	78,4 km	44,5 km	28,1 km	45,9 km
Liniendichte 2035	1.999 kWh/m	1.596 kWh/m	1.403 kWh/m	1.608 kWh/m
AG-Entwicklung	60 – 97 %	60 – 97 %	60 – 97 %	60 – 97 %
Spez. Kosten KWP	1.240 €/m	1.180 €/m	1.200 €/m	1.240 €/m
Spez. Kosten +10%	1.364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

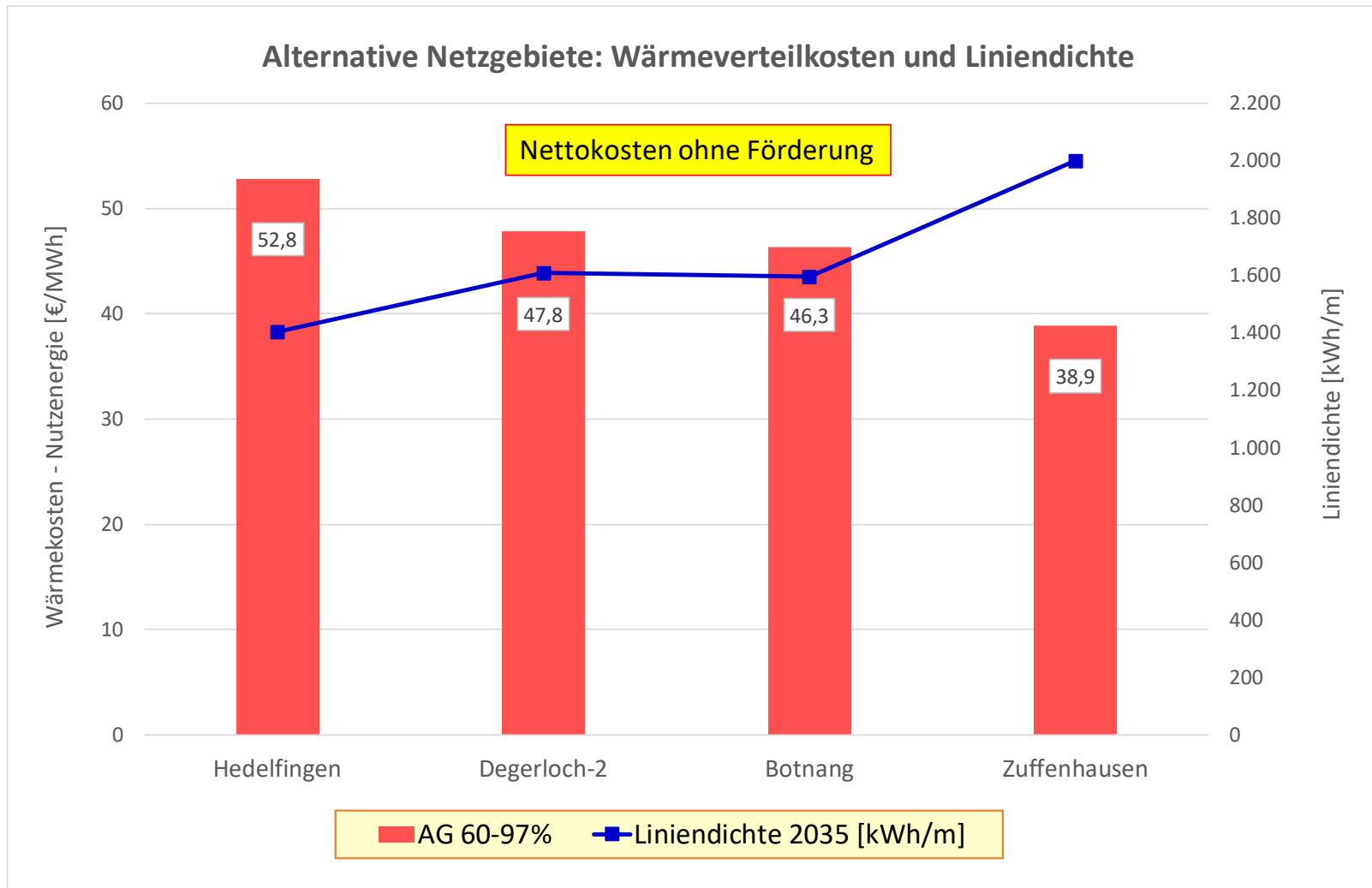
Die Anschlussgradientwicklung von 60 % auf 97 % erstreckt sich über einen Zeitraum von 15 Jahren

In den spezifischen Netzkosten sind die Kosten für die Hausübergabestationen enthalten

Einordnung von Sillenbuch nach dem Kriterium Liniendichte



Wärmeverteilungskosten in Abhängigkeit der Liniendichten

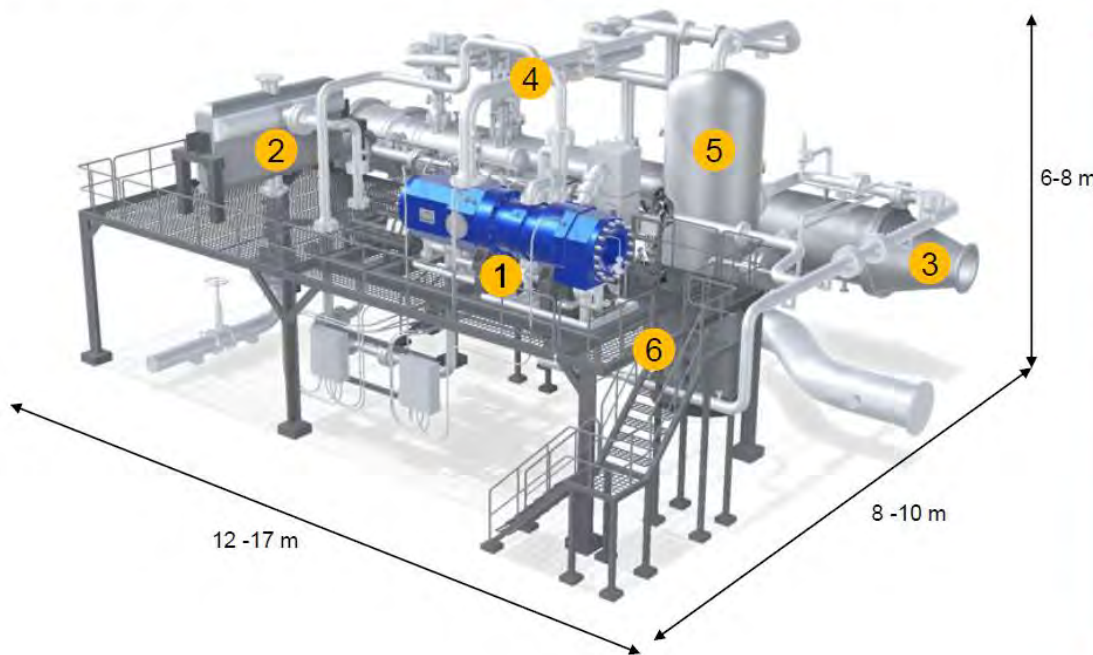


Randbedingungen: siehe Anhang Folie 35

Wärmeerzeugung: Großwärmepumpe von MAN (Beispiel)

Leistungsbereiche: 15 – 48 MW_{th} (Heizen); 10 – 32 MW_{th} (Kühlen)

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)

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 Degerloch

■ 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-Solarthermieranlage am Rand des Stadtbezirks
- ✓ Thermischer Speicher und Elektrokessel zur Spitzenlasterzeugung

Vergleich zu Sillenbuch: Filderebene; kein Zugang zur Flusswärme aus dem Neckar; Potenzialflächen für Freiland-Solarthermie

Die Ausarbeitung eines Konzepts zur multivalenten Wärmeerzeugung (mehrere Wärmequellen) muss Gegenstand der weiterführenden Planung sein

Karte zum Potenzial für Freiland-Solarthermie (Ausschnitt)

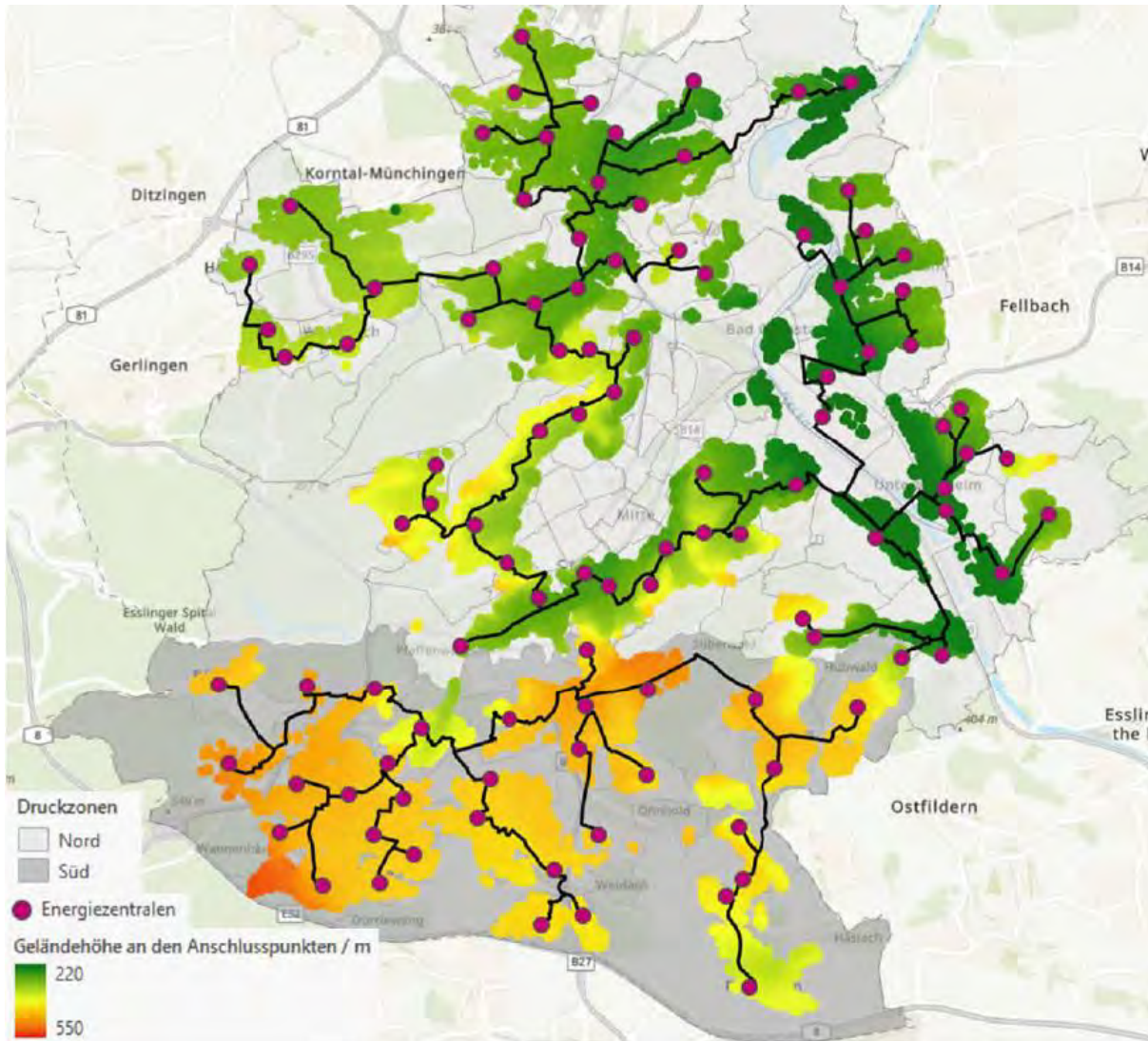


Quelle: Greenventory GmbH - Potenzial der Freiflächen-Solarthermie
Bericht Kommunale Wärmeplanung 2023; S. 40

Begründungen für Nichtbeachtung:

- „...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)

Konzeption von zwei Netzgebieten: Nord und Süd (Filder)



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.

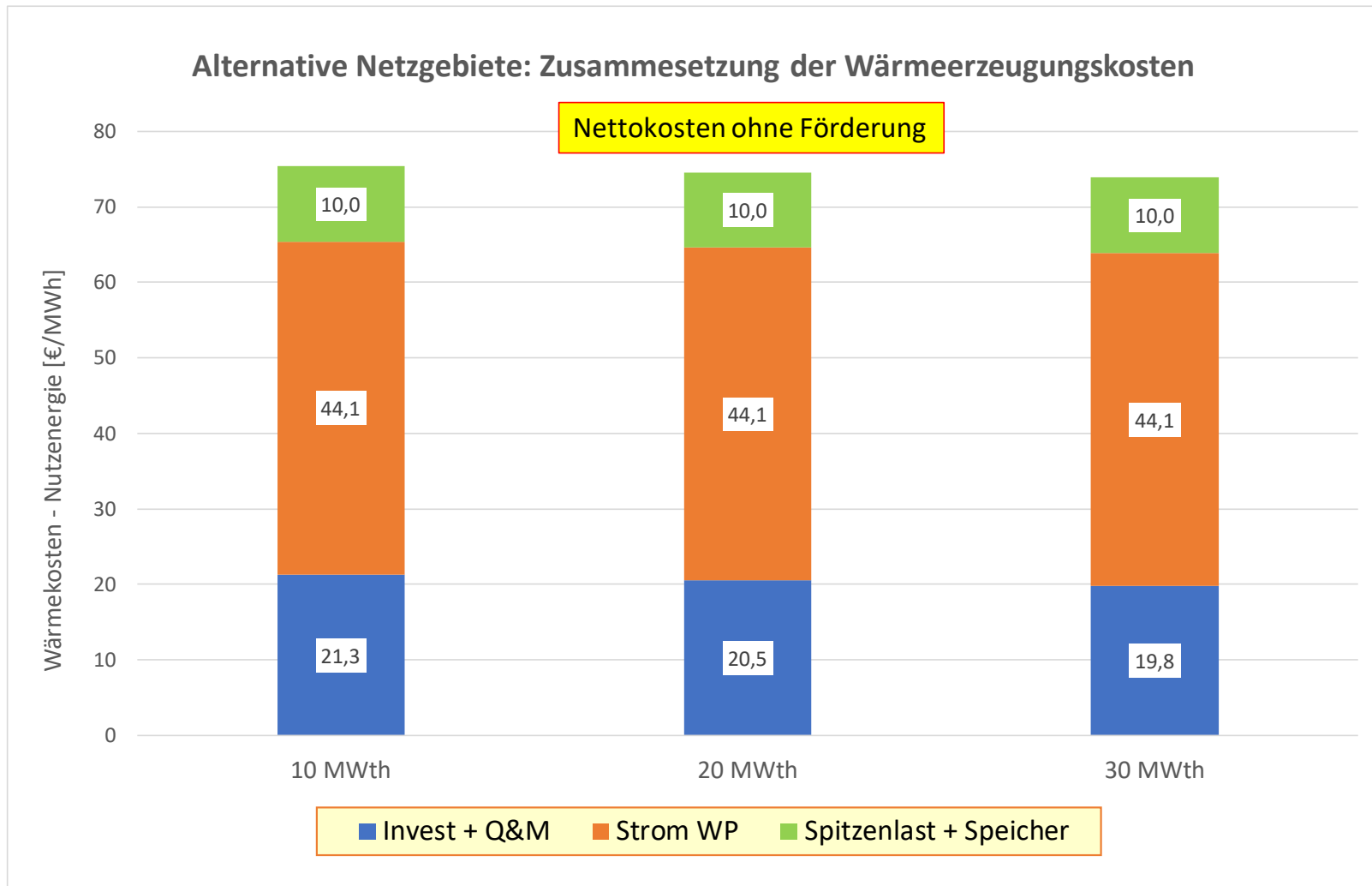
Quelle: Ramboll-Studie Klimaneutrale Fernwärme in Stuttgart; S. 38

Beispielhafte Berechnung der Wärmeerzeugungskosten

Annahmen zur Kostenberechnung

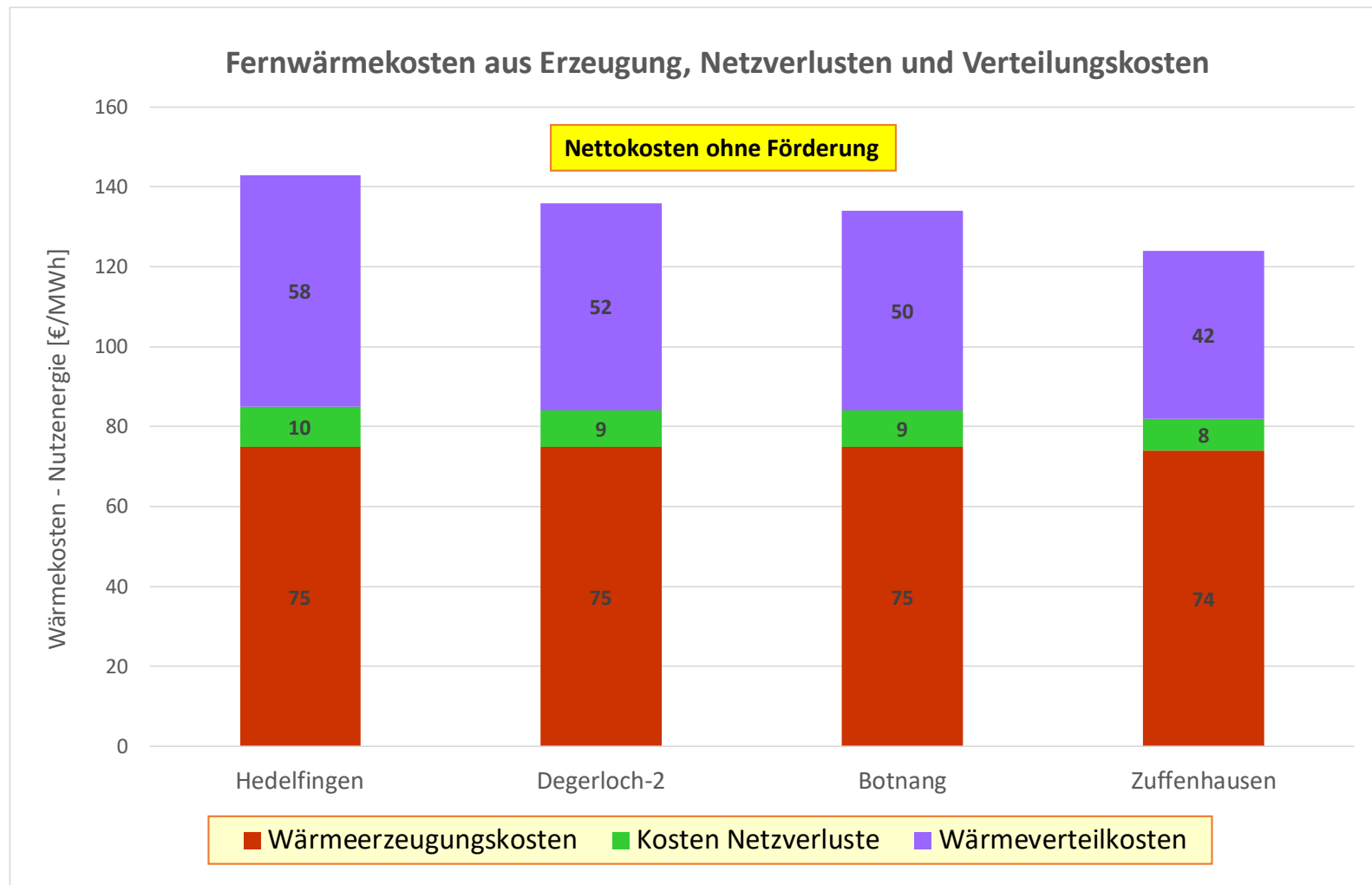
- Stellvertretend für die genannten Optionen zur Wärmeerzeugung werden die Wärmekosten für eine Großwärmepumpe berechnet. Ein Beispiel dafür kann die Maschine von MAN Energy Solutions sein
- Spezifische Investitionskosten derzeit rund $900 \text{ €/kW}_{\text{th}}$
- Dieser Wert wird einerseits vom Danish Board of District Heating berichtet (siehe Anhang). Andererseits wurden die Kosten für die Groß-WP der MVV in Mannheim mit denselben Werten angegeben
- Die Kosten für die Spitzenlasterzeugung und den thermischen Speicher werden pauschal mit 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 35)

Wärmeerzeugungskosten von Groß-Wärmepumpen



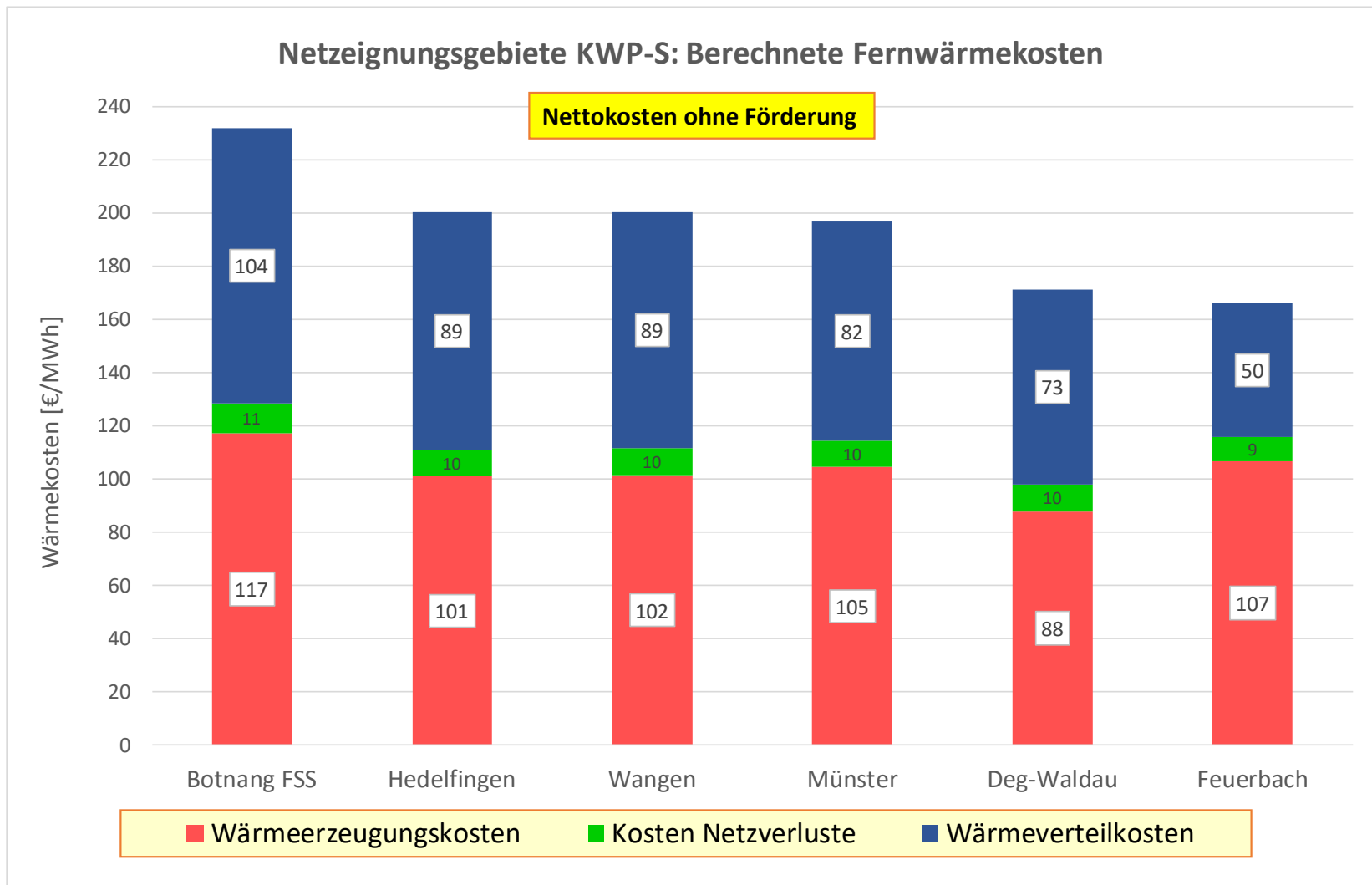
Randbedingungen: siehe Anhang Folie 36

Fernwärmekosten gemäß alternativem Planungsansatz



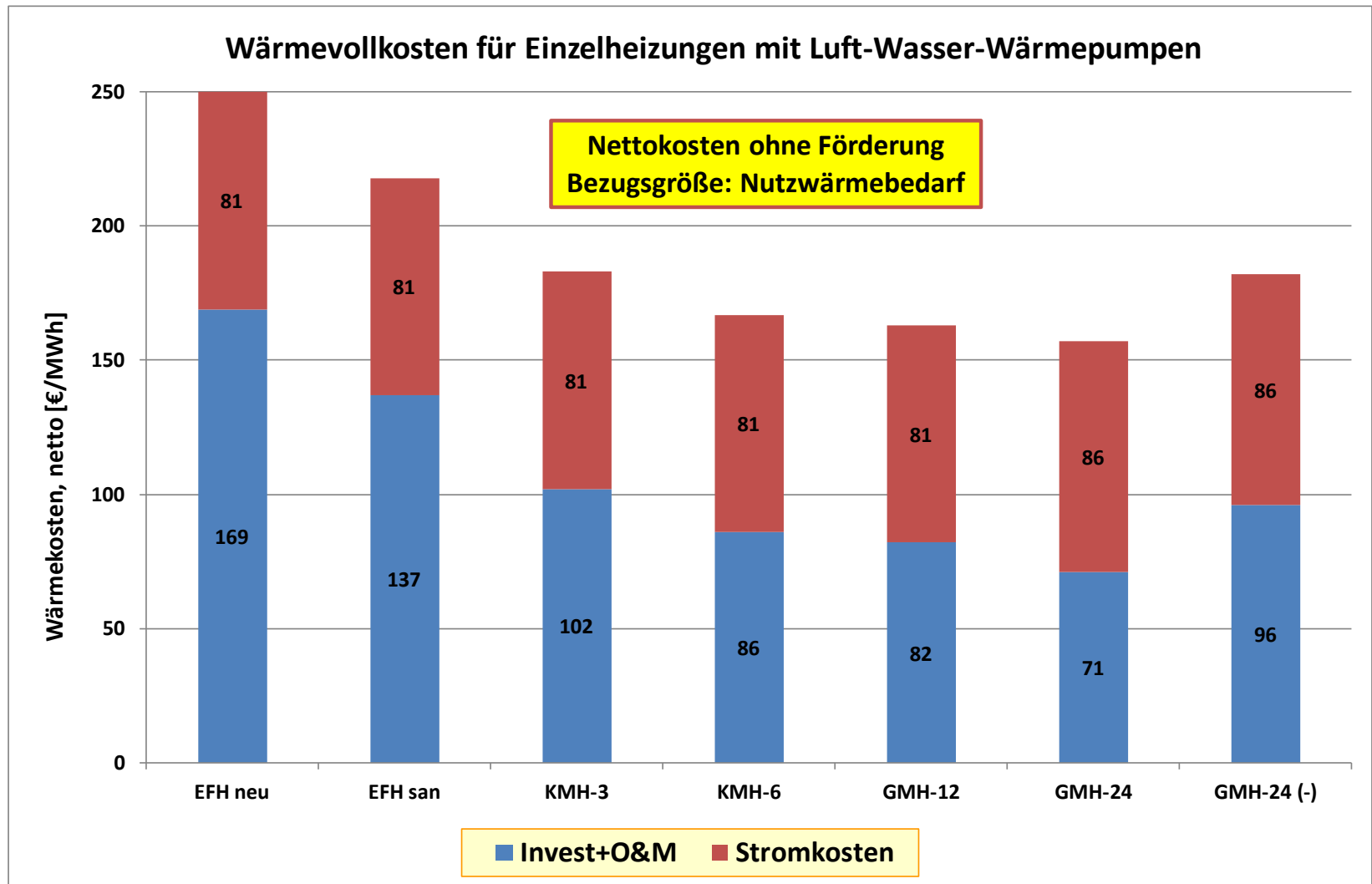
Berechnung der Wärmeverteilungskosten mit einem Aufschlag von 10 %

Fernwärmekosten für ausgesuchte Quartiere im KWP



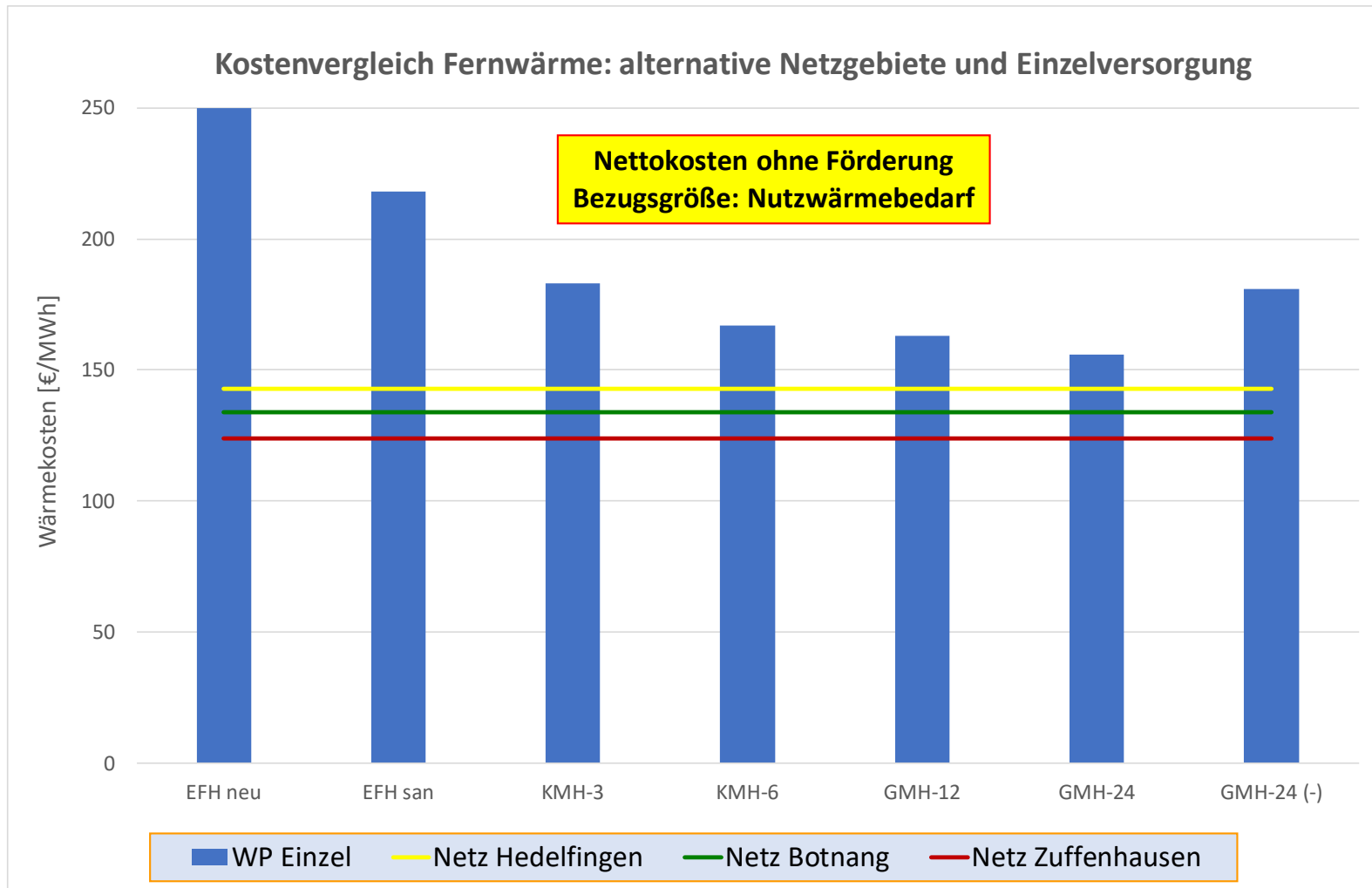
Randbedingungen: Verteilkosten Folie 35; Erzeugungskosten Folie 37 (Anhang)

Wärmevollkosten für Einzelheizungen (eigene Berechnungen)



Randbedingungen der Berechnung: siehe Anhang Folie 38

Kostenvergleich Fernwärme und Einzelversorgung



Randbedingungen der Berechnung: siehe Anhang Folie 38

Anmerkung: Erhöhte Wärmekosten bei WP-Einzel durch hohe Kosten für Hausanschlüsse

Zusammenfassung / Schlussfolgerungen

- Die Fernwärmekosten nach alternativem Planungsansatz sind deutlich niedriger als in den Netzeignungsgebieten des KWP (mehrere Ursachen; u. a. Skalierungseffekte bei Großanlagen)
- Kostenvergleich zwischen Wärmenetzen und Einzelversorgung
 - ✓ Im Vergleich zu den Fernwärmekosten bei alternativem Planungsansatz ist die Einzelversorgung jedoch für alle Gebäudetypen teurer, trotz der Berücksichtigung von Botnang-West (Mischkalkulation)!
 - ✓ Notwendige Verstärkung der Stromnetze für dezentrale WP treibt die Kosten für Einzelversorgung noch weiter nach oben (Beispiel GMH)
- Damit ist die Aussage im KWP („...dass nur in wenigen Situationen die netzbasierte Versorgung die kostengünstigere Variante darstellt“; Bericht S. 58) widerlegt.
- KWP-Bericht S. 103: „Die Festlegung als Gebiet mit Einzelversorgung schließt nicht aus, dass Wärmeverbünde entstehen können...“ → Gebiete müssen gleich als Netzeignungsgebiet ausgewiesen werden!
- Gesamtfazit: Eine Neuplanung für Stuttgart ist notwendig!

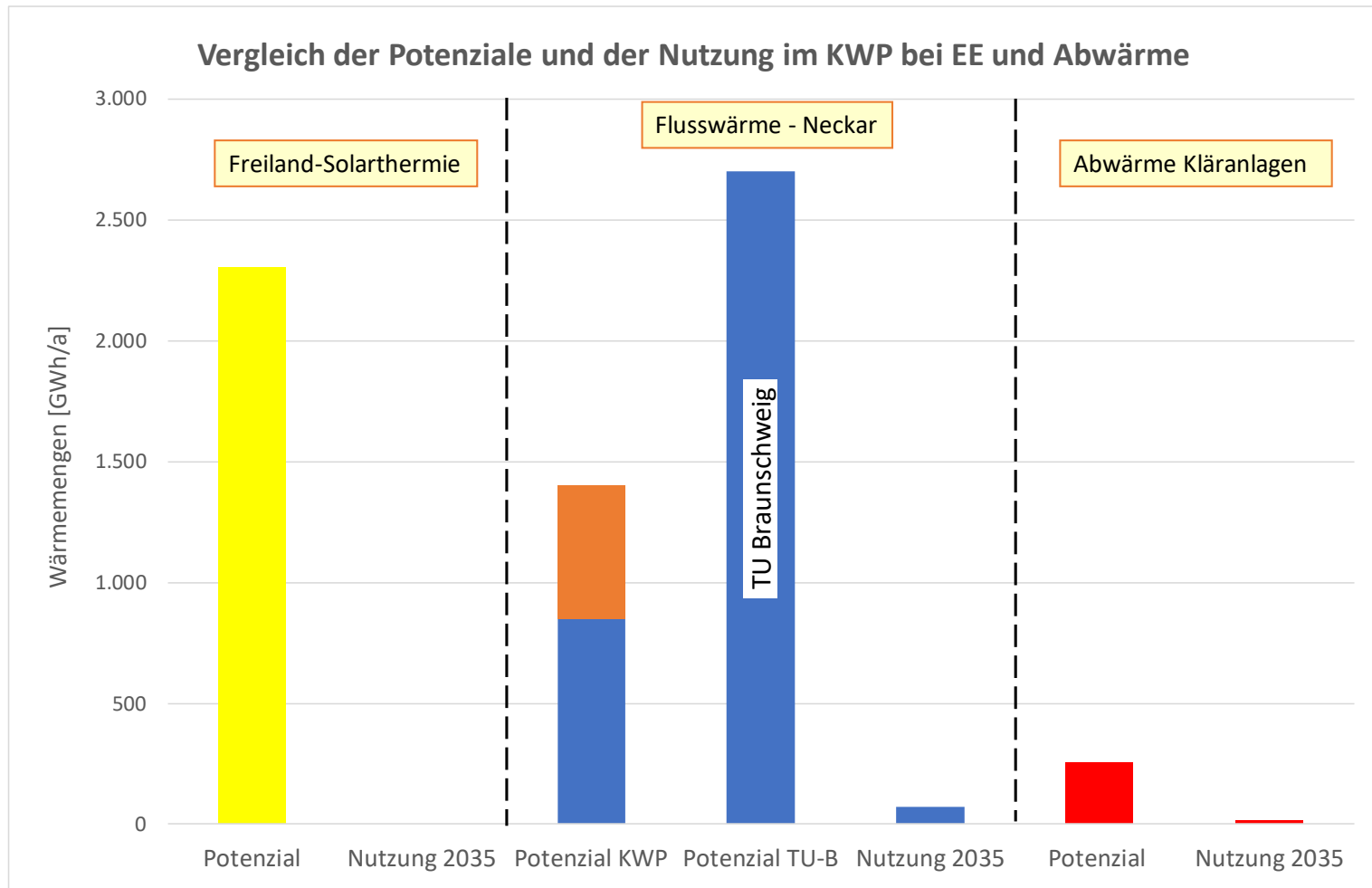
Kurze Ergänzung zur Rolle der Wärmedämmung

- Eine möglichst flächendeckende und konsequente Verbesserung der Wärmedämmung von Gebäuden ist auf jeden Fall ein wichtiger Bestandteil der Wärmewende
- Die Kosten dafür müssen selbstverständlich auch in die Betrachtung einbezogen werden (Sozialverträglichkeit)
- Zu diskutieren ist dabei, welche Auswirkungen eine groß angelegte Fernwärmestrategie einerseits oder ein hoher Anteil von Einzelversorgungen andererseits auf den über die Stadt verteilten Prozess der Gebäudesanierung hat
- ➔ Um im Zeitrahmen zu bleiben, wäre das ein eigener Vortrag!



Anhang

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

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 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: 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: 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
Spezifische Investitionskosten Gesamt	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

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/>).

Informationen zur Person des Referenten

- 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 wohnhaft im Stadtbezirk Hedelfingen