

Stadt Stuttgart  
**70174 Stuttgart**

## STUDIE

# Potenzialanalyse Neckarwärmenutzung

### Erläuterungsbericht

#### Auftraggeber

Stadtwerke Stuttgart GmbH  
Friedrichstraße 45  
70174 Stuttgart

Ingenieurbüro Fritz Spieth  
Beratende Ingenieure GmbH  
Fritz-Müller-Straße 143  
73730 Esslingen  
Tel. +49 711 931858-0  
info@ib-spieth.de

Energie und Anlagentechnik PUT  
Stuttgarter Str. 82  
70469 Stuttgart  
Tel. +49 711 896631-41  
info@put-gmbh.de

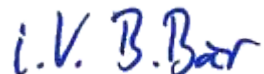
Aufgestellt:

Esslingen und Stuttgart, den 30.06.2023

Projektleiter  
PUT:



Projektleiter  
IB Spieth:



## **INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1</b>	<b>ALLGEMEINES</b>	<b>7</b>
<b>1.1</b>	<b>Situation / Aufgabenstellung</b>	<b>7</b>
<b>1.2</b>	<b>Termine</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN</b>	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Durch AG zur Verfügung gestellte Informationen</b>	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>Datengrundlage Ganglinien Neckartemperatur</b>	<b>8</b>
<b>2.3</b>	<b>Auswahl zu untersuchender Versorgungsgebiete</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>ERMITTLUNG DES GESAMTPOTENZIALS BEI DER NUTZUNG VON NECKARWASSER ALS WÄRMEQUELLE</b>	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>Neckarwassertemperatur und Abfluss Realvariante</b>	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>Definition Gesamtpotenzial der Wärmequelle</b>	<b>14</b>
<b>3.3</b>	<b>Bestimmung technisch nutzbares Wärmepotenzial</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>HEIZSYSTEM</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>Wärmenetze</b>	<b>18</b>
4.1.1	Wärmenetz mit zentralen Großwärmepumpen	19
4.1.2	Wärmenetz mit dezentralen Wärmepumpen	21
<b>4.2</b>	<b>Wärmepumpen</b>	<b>22</b>
4.2.1	Allgemeines	22
4.2.2	Kältemittel	24
4.2.3	Zusammenfassung Eigenschaften und Auslegungsdaten	26
<b>4.3</b>	<b>Einlaufbauwerk</b>	<b>26</b>
<b>4.4</b>	<b>Auslaufbauwerk</b>	<b>27</b>
<b>4.5</b>	<b>Platzbedarf der Komponenten des Heizsystems</b>	<b>27</b>
4.5.1	Großwärmepumpen	27
4.5.2	Zwischenkreis-Wärmetauscher	28
4.5.3	Elektrischer Durchlauferhitzer	29
4.5.4	Wärmenetz (erdverlegte Rohrleitungen und Tiefbau)	29
<b>5</b>	<b>AUSWAHL GEBIETE, DIE FÜR DIE THERMISCHE NUTZUNG IN BETRACHT KOMMEN</b>	<b>32</b>
<b>5.1</b>	<b>Verortung potenzieller Wärmeverbraucher</b>	<b>33</b>
<b>5.2</b>	<b>Auswahl der Verbraucher, die bisher über konventionelle Wärmeträger versorgt werden</b>	<b>33</b>
<b>5.3</b>	<b>Lastkurve – Test Referenz Jahr (TRJ / TRY)</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>SONDIERUNG GEEIGNETER STANDORTE</b>	<b>37</b>
<b>6.1</b>	<b>Ermittlung Flächenbedarf</b>	<b>37</b>
<b>6.2</b>	<b>Vorauswahl von Standorten für die Wärmezentrale</b>	<b>38</b>
<b>6.3</b>	<b>Bewertung der möglichen Standorte für eine Wärmezentrale</b>	<b>40</b>
6.3.1	Standort(e) der Wärmezentrale (Entfernung zum Neckar max. 150 m)	40
6.3.2	Stelle Wasserentnahme und Rückführung zum Neckars (visuelle Inspektion)	40
6.3.3	Tiefe des Neckar (visuelle Inspektion/Beurteilung Ortsbegehung)	40
6.3.4	Hafenbereich / Wasserkraftwerke	40
6.3.5	Fließgeschwindigkeit bei der Ausleitung (visuelle Inspektion/Beurteilung)	40
6.3.6	Art des Eigentümers	40
6.3.7	Umweltrechtliche Bedingungen werden eingehalten (Kein FFH etc.)	40
<b>6.4</b>	<b>Kriterien zur Errichtung eines neuen Wärmenetzes</b>	<b>40</b>
6.4.1	Abnehmerdichte / Wärmeverbrauchsichte	40

6.4.2	Technische Umsetzbarkeit Netzbau	40
6.4.3	Anteil der Brennstoffe / Fossile Quellen (Kohle, Gas, Heizöl, Erdgas)	41
6.4.4	Anteil Wohngebäude (Wohneigentümergeinschaft-WEG)	41
6.4.5	Eignung LW-WP (Luft-Wasser Wärme Pumpe)	41
6.4.6	Leitungslänge zwischen Wärmezentral bis Quartier/tatsächliche Versorgungsgebiet	41
6.4.7	Verfügbare Straßen / Wege für die Verlegung der gepl. Leitung	41
<b>6.5</b>	<b>Festlegung der Bewertungskriterien</b>	<b>42</b>
<b>6.6</b>	<b>Bewertung der Standorte</b>	<b>43</b>
<b>6.7</b>	<b>Ergebnisse der Standortanalyse</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>NETZBETRACHTUNG FÜR GEEIGNETE TEILGEBIETE</b>	<b>46</b>
<b>7.1</b>	<b>Verortung geplante Netzverlegung</b>	<b>46</b>
<b>7.2</b>	<b>Wärmeversorgung ausgewählte Teilgebiete</b>	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>KOSTENSCHÄTZUNG FÜR AUSGEWÄHLTE TEILGEBIETE</b>	<b>51</b>
<b>8.1</b>	<b>Investitionskostenschätzung</b>	<b>51</b>
8.1.1	Investition Wärmeverteilung	52
<b>8.2</b>	<b>Betriebskostenschätzung</b>	<b>54</b>
<b>9</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>56</b>

## **ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

<b>Abbildung 1:</b> Fernwärmegebiet und potenzielle Quartiere	9
<b>Abbildung 2:</b> Definierten Ausgabepunkte für die Simulation der Gewässerdaten.	10
<b>Abbildung 3:</b> Differenz der Neckarwassertemperatur der Ausgabepunkte 5971 und 5053	11
<b>Abbildung 4:</b> Temperaturverlauf Neckarwasser als stündlicher Mittelwert aller berechneten Ausgabepunkte zwischen 2011 – 2020. Untere Grenztemperatur von +5 °C in <b>Rot</b> .	12
<b>Abbildung 5:</b> Summenverteilung der Neckarwassertemperatur für die Jahre 2011 – 2020.	12
<b>Abbildung 6:</b> Abflussmenge Neckarwasser als stündlicher Mittelwert aller berechneten Ausgabepunkte zwischen 2011 – 2020.	13
<b>Abbildung 7:</b> Summenverteilung der Neckarabfluss für die Jahre 2011 – 2020.	14
<b>Abbildung 8:</b> Stundenmittelwerte der technisch nutzbaren Entzugsleistung des Jahres 2011.	16
<b>Abbildung 9:</b> Fließschema Wärmenetz mit zentraler Großwärmepumpe	20
<b>Abbildung 10:</b> Fließschema einer dezentralen Lösung über ein kaltes Nahwärmenetz.	21
<b>Abbildung 11:</b> Schematische Darstellung Seitenansicht der Flusswasserentnahme	26
<b>Abbildung 12:</b> Platzbedarf einer auf 10 MW thermische Leistung ausgelegten Großwärmepumpe	28
<b>Abbildung 13:</b> Platzbedarf einer auf 10 MW thermische Leistung ausgelegten GWP-Lösung.	28
<b>Abbildung 14:</b> Platzbedarf von zwei auf je 10 MW thermische Leistung ausgelegte elektrische Durchlauferhitzer.	29
<b>Abbildung 15:</b> Grabenquerschnitt DN400 KMR-Leitung	30
<b>Abbildung 16:</b> Grabenquerschnitt DN200 KMR-Leitung	31
<b>Abbildung 17:</b> Übersicht der zu untersuchenden Stadtteile	32
<b>Abbildung 18:</b> Übersicht geeigneter Verbraucher, eingefärbt nach spezifischem Wärmebedarf	33
<b>Abbildung 19:</b> Übersicht Anteil konventionelle Wärmeträger versorgt werden, exemplarisch am Stadtteil 3 – Münster	34
<b>Abbildung 20:</b> Test Referenz Jahr (TRJ) Lastkurve	35

<b>Abbildung 21:</b> Aufstellungsplan (beispielhaft) zur Ermittlung des Flächenbedarfs der Technikzentralen	37
<b>Abbildung 22:</b> Isometrische 3D-Ansicht des beispielhaften Aufstellungsplans für die Technikzentralen.	38
<b>Abbildung 23:</b> Übersicht der Vorauswahl möglicher Standorte für die Wärmezentrale	39
<b>Abbildung 24:</b> Konzeptioneller Ansatz Fernwärmenetz Stadtteil Münster	47
<b>Abbildung 25:</b> Konzeptioneller Ansatz Fernwärmenetz Stadtteil Schmidener Vorstadt	47
<b>Abbildung 26:</b> Konzeptioneller Ansatz Fernwärmenetz Stadtteil Wangen	48
<b>Abbildung 27:</b> Konzeptioneller Ansatz Fernwärmenetz Stadtteil Hedelfingen	48
<b>Abbildung 28:</b> Heizlastkurve (stündliche Mittelwerte) für Hedelfingen für die Jahre 2011 - 2020.	50
<b>Abbildung 29:</b> Darstellung der geschätzten Investitionskosten für die ausgewählten Teilgebiete.	52
<b>Abbildung 30:</b> Investitionskosten Fernwärmenetz	53
<b>Abbildung 31:</b> Investitionskosten Hausanschlüsse	53
<b>Abbildung 32:</b> Darstellung der jährlichen Betriebsmittel für die ausgewählten Teilgebiete.	54
<b>Abbildung 33:</b> Darstellung der jährlichen Betriebskosten der Wärmeverteilung für die ausgewählten Teilgebiete.	54
<b>Abbildung 34:</b> Darstellung der aufgeteilten jährlichen Betriebskosten für die Wärmeerzeugung.	55
<b>Abbildung 35:</b> Darstellung der mittleren Wärmegegestehungskosten pro MWh für beide betrachteten Wärmeerzeuger.	55

## **TABELLENVERZEICHNIS**

<b>Tabelle 1:</b> Technisch nutzbare Entzugs- und Heizmengen	16
<b>Tabelle 2:</b> Kennzahlen / Indikatoren je Stadtteil	34
<b>Tabelle 3:</b> Übersicht Wärmebedarf Stadtteile	36
<b>Tabelle 4:</b> Klassifizierung der Kriterien	41
<b>Tabelle 5:</b> Festlegung der Bewertungskriterien	42
<b>Tabelle 6:</b> Bewertung der Kriterien	43
<b>Tabelle 7:</b> Bewertungsmatrix	44
<b>Tabelle 8:</b> Ergebnis gewichtete Bewertungsmatrix	45
<b>Tabelle 9:</b> Heizleistung und angeschlossene Gebäude je ausgewählter Stadtteil	46
<b>Tabelle 10:</b> Eckdaten Fernwärmenetz	46
<b>Tabelle 11:</b> Zuordnung Ausgabepunkte Realvariante zu Teilgebieten	49
<b>Tabelle 12:</b> Anteilige Volllaststunden und Definition Heizleistungen für alle ausgewählten Teilgebiete.	50
<b>Tabelle 13:</b> Investitionskosten für Wärmeverteilung	52

## 1 ALLGEMEINES

### 1.1 Situation / Aufgabenstellung

Mit dieser Potenzialanalyse wird die Nutzung der Umweltwärme des Neckarwassers im Stadtgebiet Stuttgart untersucht. Zur Nutzung der Umweltwärme des Neckarwassers zu Heizzwecken werden die nachfolgenden Ziele formuliert:

1. Ermittlung des Gesamtpotenzials des Neckars als Wärmequelle, unter Berücksichtigung der Trockenwetterabflüsse und der maximal zulässigen Gesamtabkühlung des Neckars von 2 K.
2. Ermittlung des technisch nutzbaren Wärmepotenzials unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen der unteren Grenztemperatur und des Mindestabflusses des Gewässers
3. Prüfung und Auswahl wirtschaftlich sinnvoll erschließbarer Areale zur Versorgung mit Heizwärme in Abhängigkeit der Lage zum Neckar und dem Wärmebedarf der Areale und einer darauf basierenden Definition geeigneter Heizsysteme
4. Ermittlung der Investitions- und Betriebskosten der Heizsysteme für geeignete Teilgebiete.

Grundlage der Analyse sind die durch die Stadt Stuttgart bereitgestellten Daten der Wärmeverbräuche der Gebäude- und Flurstücke für 10 vorausgewählte Areale und die Zeitreihendaten der simulierten Neckarwassertemperaturen und -abflüsse der Firma Hydron mit (Realvariante) und ohne (Nullvariante) Berücksichtigung anthropogener Wärmeeinleitungen für die letzten 10 Jahre. Aufbauend auf den Daten der Realvariante wurde das Gesamtpotenzial, das technisch nutzbare Wärmepotenzial und die spezifische Wärmeversorgung der geeigneten Teilgebiete ermittelt.

### 1.2 Termine

Beauftragung	28.04.2023
Präsentation Zwischenstand	16.05.2023
Besprechung mit AG zum weiteren Vorgehen	22.05.2023
Abstimmung Datenweitergabe an Hydron	13.06.2023
Übermittlung Ergebnisunterlagen	30.06.2023
Präsentation Studienergebnisse	Termin noch zu vereinbaren

## 2 GRUNDLAGEN

### 2.1 Durch AG zur Verfügung gestellte Informationen

- [1] Wärmeverbräuche aufgeteilt auf die Energieträger (GIS File)
- [2] Heizerzeugerleistungen (fossile Erzeuger, plus Wärmepumpen) (GIS File)
- [3] GIS-Daten Fernwärmenetz
- [4] GIS-Daten Straßen, Flüsse, Gebäude (Gebäude auch als LOD 1 und LOD 2-Modell), Baublöcke, Stadtteil, Stadtbezirke...
- [5] GIS-Daten Geländemodell
- [6] GIS-Daten Eignungsgrad Baublöcke hinsichtlich einer Aufstellung einer L/W-WP (Berücksichtigung Mindestabstände)
- [7] Gebäude- und Flurstückdaten (Eigentümer, Bebaute Fläche, Geschossfläche, Energiebezugsfläche Flurstücknutzung, Gebäudenutzung, Baujahr)
- [8] Tagesmitteltemperaturen Neckarwasser
- [9] Durchflüsse Neckar stundengenau
- [10] Excelbasiertes Tool zur groben Potenzialabschätzung des Neckarwassers
- [11] Ganglinien aus Modell Nullvariante Hydron, Karlsruhe
- [12] Ganglinien aus Modell Realvariante Hydron, Karlsruhe

### 2.2 Datengrundlage Ganglinien Neckartemperatur

Grundlage der Auswertung sind durch Fa. Hydron bereitgestellte, simulierte physikalische Fließgewässerdaten (Temperatur und Abflüsse). Seitens Hydron wurden die physikalischen Gewässerdaten an 10 unterschiedlichen Ausgabepunkten ( $\triangle$  Berechnungspunkte, siehe Abbildung 2) für zwei unterschiedliche Varianten simuliert:

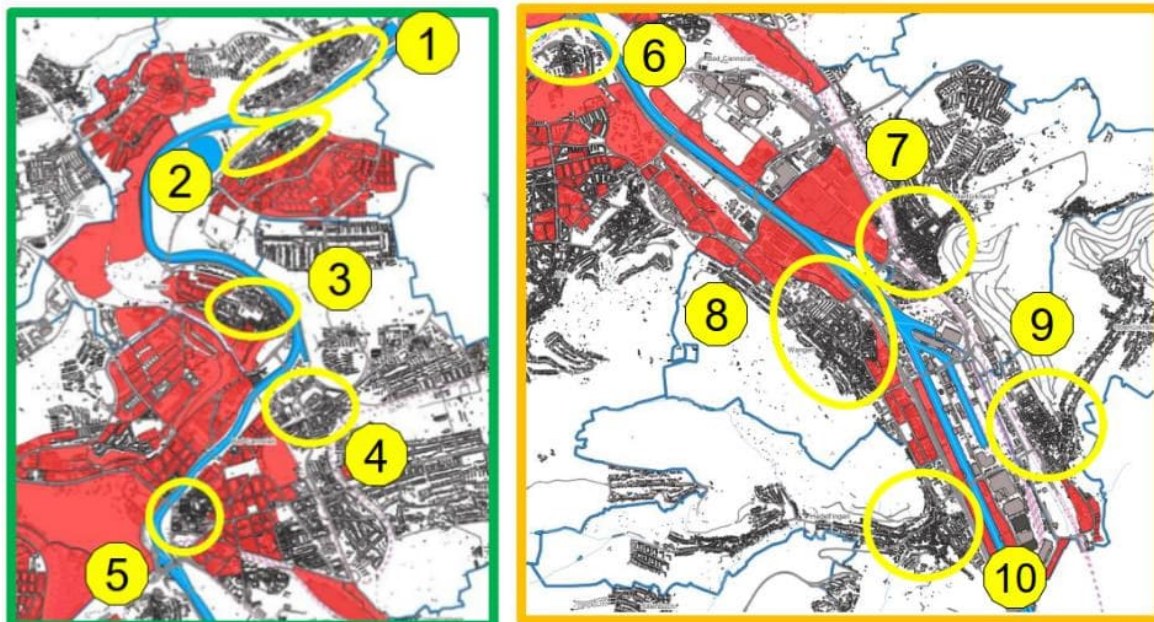
- **Nullvariante:** Berechnung der physikalischen Gewässerdaten des Neckars ohne Berücksichtigung von Abwärmeeinleitung bzw. Wärmeentzug
- **Realvariante:** Berechnung der physikalischen Gewässerdaten des Neckars unter Berücksichtigung der Abwärmeeinleitung bzw. dem Wärmeentzug durch zwei Kraftwerke (Altbach, Müllheizkraftwerk Stuttgart Münster) und einer sich am Standort Münster befindlichen Großwärmepumpe

Beide Varianten berücksichtigen meteorologische Einflüsse.



### 2.3 Auswahl zu untersuchender Versorgungsgebiete

Aus dem Wärmeplan wurde durch die Stadtwerke Stuttgart und das Amt für Umweltschutz eine Vorauswahl an Gebieten getroffen, die für eine Wärmeversorgung durch Neckarwasser in Frage kommen. Gebiete, die bereits durch Fernwärme versorgt sind (rot dargestellt in Abbildung 1) wurden ausgeschlossen.



**Abbildung 1:** Fernwärmegebiet und potenzielle Quartiere <sup>1</sup>

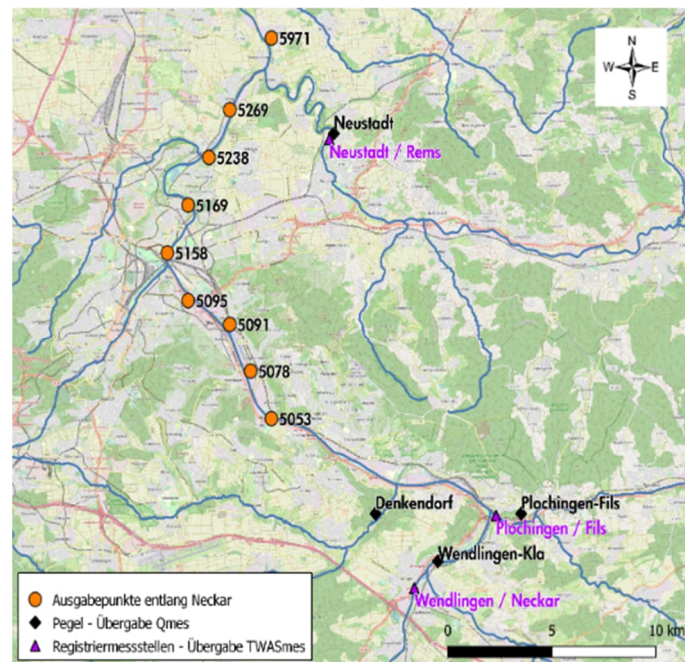
<sup>1</sup> Quelle: Landeshauptstadt Stuttgart – Amt für Umweltschutz“

### 3 ERMITTLUNG DES GESAMTPOTENZIALS BEI DER NUTZUNG VON NECKARWASSER ALS WÄRMEQUELLE

Nachfolgend erfolgt eine Auswertung der Ganglinien (Temperatur und Abflüsse) des Neckars im Raum Stuttgart.

Grundlage der Auswertung sind durch Fa. Hydron bereitgestellte, simulierte physikalische Fließgewässerdaten (Temperatur und Abflüsse). Seitens Hydron wurden die physikalischen Gewässerdaten an 10 unterschiedlichen Ausgabepunkten ( $\triangle$  Berechnungspunkte, siehe Abbildung 2) für zwei unterschiedliche Varianten simuliert:

Im Rahmen dieser Studie erfolgt nur eine Auswertung der physikalischen Gewässerdaten auf Basis der Realvariante, da in Zukunft nicht mit einer Abnahme der Abwärmeeinleitungen zu rechnen ist. Für die nachstehende Auswertung werden die stündlichen Mittelwerte aus allen Ausgabepunkten gebildet.



**Abbildung 2:** Definierten Ausgabepunkte für die Simulation der Gewässerdaten.

[Quelle: Potentialanalyse, Hydron]

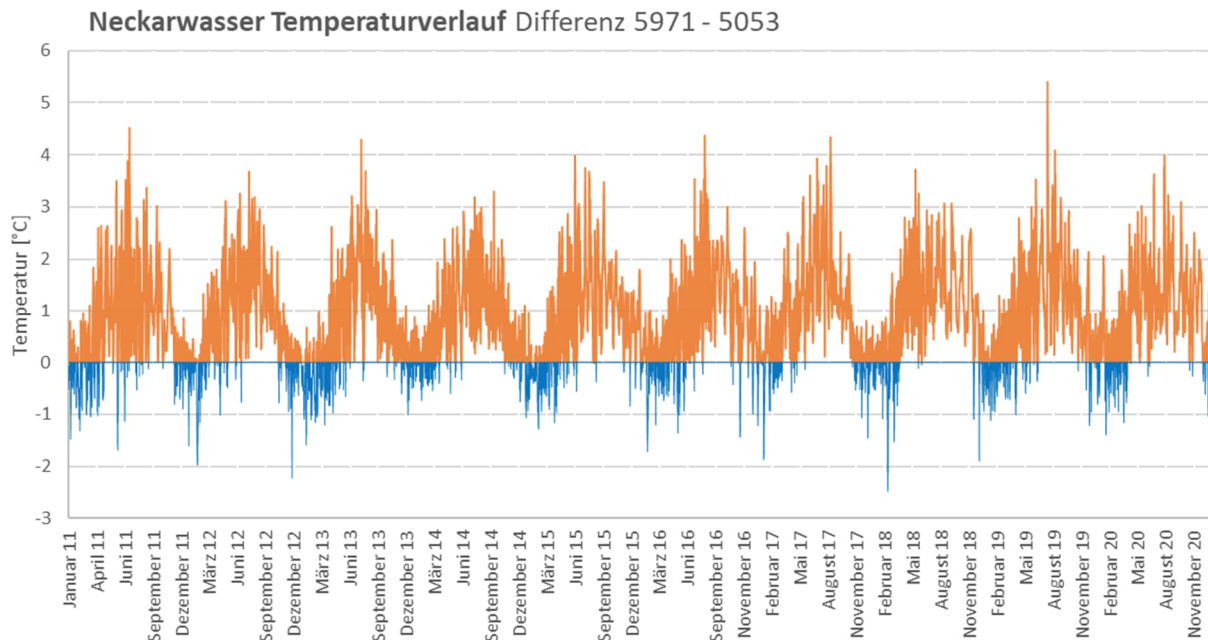
#### 3.1 Neckarwassertemperatur und Abfluss Realvariante

Mit der Realvariante werden die meteorologische Wettereinflüsse, die Abwärmeeinleitung des Kraftwerks Altbach und des Müllheizkraftwerks Stuttgart Münster und der Wärmeentzug durch die Großwärmepumpe am Standort Münster berücksichtigt. Die Realvariante stellt den IST-Zustand dar.

*Hinweis: Die Abwärme Einleitung des Kraftwerksstandorts Gaisburg wird aufgrund geringer Abwärmeeinleistung und fehlender Daten in der Real-Variante nicht betrachtet.*

In Abbildung 3 ist der Flusstemperatur-Unterschied des ersten Ausgabepunkts (5053) und des letzten Ausgabepunkts (5971) flussabwärts dargestellt. Die Differenz der Temperatur des ersten und letzten Ausgabepunktes ist mittels nachstehender Formel berechnet:

$$\Delta T = T_{5971} - T_{5053} \quad (1)$$



**Abbildung 3:** Differenz der Neckarwassertemperatur der Ausgabepunkte 5971 und 5053  
(Stundenwerte für die Jahre 2011 – 2020)

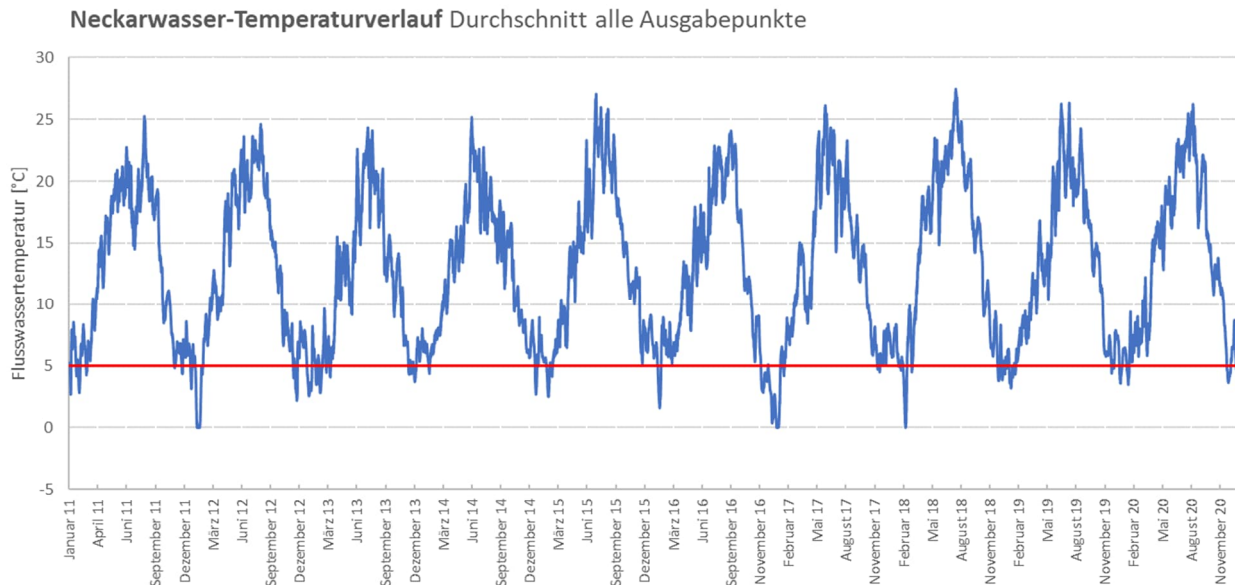
In Abbildung 3 sind farblich die Temperaturzunahme mit orange und die Temperaturabnahme mit blau dargestellt.

Über ein ganzes Jahr (und für jedes Jahr im gesamten Zeitraum) betrachtet, nimmt die Temperatur des Neckars bei Querung des Einzugsbereichs Stuttgart zu. Jedoch resultiert zeitweilig insbesondere in den kalten Wintermonaten eine Abkühlung des Neckars, da Wettereinflüsse den Effekt der Abwärmeeinleitung übersteigen.

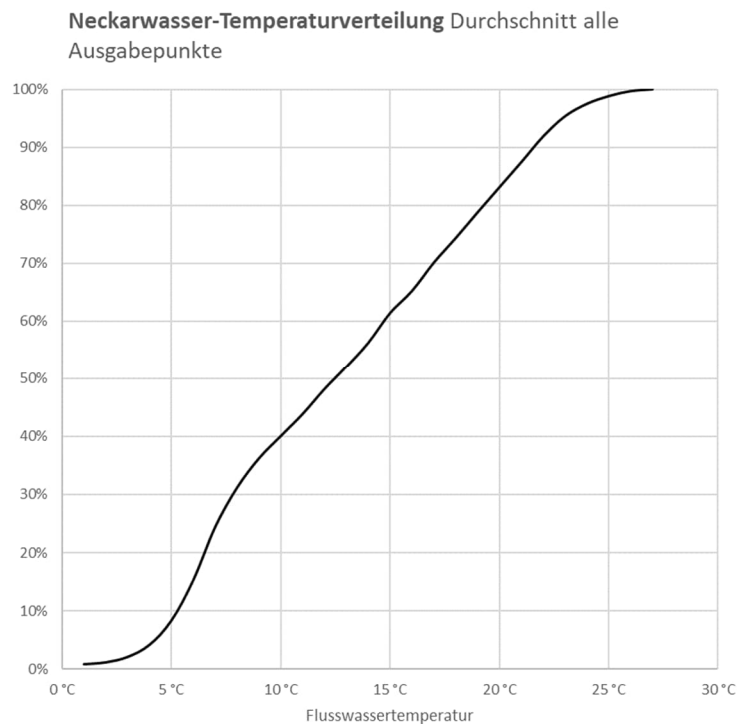
Um die äußeren Einflüsse (meteorologische Einflüsse, anthropogene Abwärmeeinleitung und Wärmeentzug anderer Quellen und Senken mit Ausnahme der betrachteten Wärmepumpen) auf den Neckar zu berücksichtigen, wird bei der weitergehenden Betrachtung der ausgewählten Gebiete der stromaufwärts nächste Ausgabepunkt verwendet. Eine Zuordnung findet sich in Tabelle 11.

Die nachfolgend grafisch und numerisch dargestellten Temperatur- und Abflusswerte stellen das arithmetische Mittel über alle mit der Realvariante berechneten Ausgabepunkte dar.

Für die Auswertung der Daten wurde eine untere Grenztemperatur von +5 °C definiert, unterhalb welcher die Großwärmepumpe aufgrund der Gefahr einer Vereisung des rückgespeisten Neckarwassers nur eingeschränkt betrieben werden kann bzw. komplett abgeschaltet wird. Für alle nachfolgenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass bei Unterschreitung der Grenztemperatur eine Nutzung der Wärmepumpe nicht möglich ist.



**Abbildung 4:** Temperaturverlauf Neckarwasser als stündlicher Mittelwert aller berechneten Ausgabepunkte zwischen 2011 – 2020. Untere Grenztemperatur von +5 °C in **Rot**.



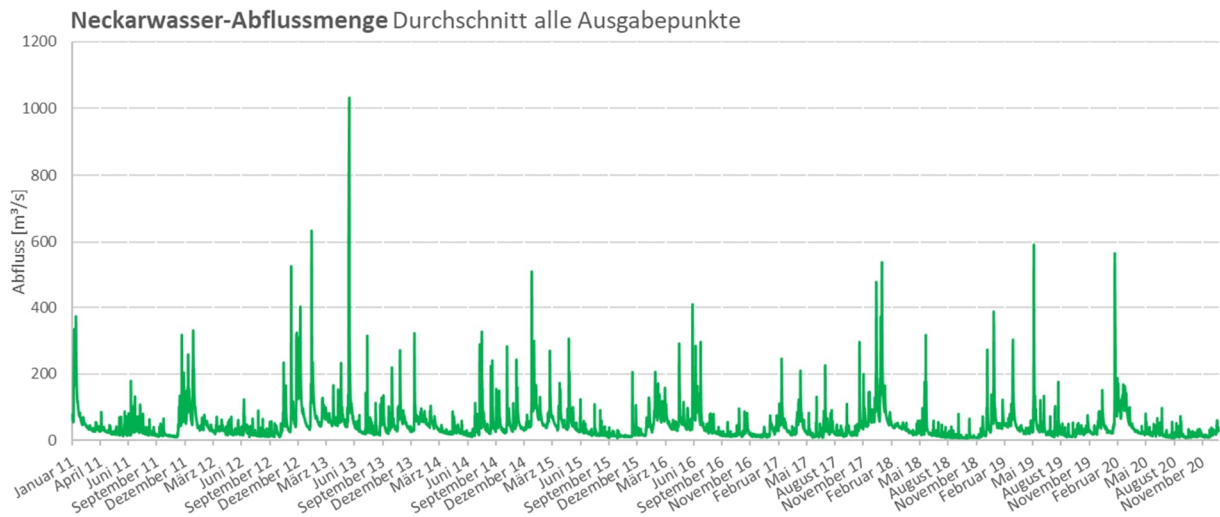
**Abbildung 5:** Summenverteilung der Neckarwassertemperatur für die Jahre 2011 – 2020.

Entsprechend Abbildung 4 bewegt sich im Raum Stuttgart die Neckarwassertemperatur in Abhängigkeit der Jahreszeit zwischen 0° und 27° Celsius Grad.

Entsprechend Abbildung 5 ist die Wassertemperatur des Neckars für **9 %** der auf zehn Jahre berechneten Stundenmittelwerte **≤ 5 °C**, d.h. für 9 % der Zeit (entsprechend 788 Stunden im Jahr) ist keine Nutzung der Wärmepumpe aufgrund Unterschreitung der unteren Grenztemperatur möglich.



Weil die Neckarwasser-Abflussmenge witterungsbedingten Schwankungen unterliegt, ist für die Ermittlung des Gesamtwärmepotenzials der Abfluss des Neckars in der Heizperiode relevant. Für die weitere Betrachtung wurde hierfür das 5. Perzentil aller Heizperioden (Monate Oktober – April) in den Jahren 2011 – 2020 entsprechend ermittelt.



**Abbildung 6:** Abflussmenge Neckarwasser als stündlicher Mittelwert aller berechneten Ausgabepunkte zwischen 2011 – 2020.

Die untere Abflussgrenze wurde bei 5 % festgelegt, um Schwankungen während Niedrigwasserperioden und den damit verbundenen geringeren Abflüssen vernachlässigen zu können.

Entsprechend Abbildung 7 ist der Abfluss des Neckars für **5 %** der auf zehn Jahre berechneten Stundenmittelwerte in der Heizperiode  $\leq 11,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , d.h. entsprechend 229 Stunden in der Heizperiode ist keine Nutzung der Wärmepumpe aufgrund Unterschreitung des minimalen Abflusses möglich.

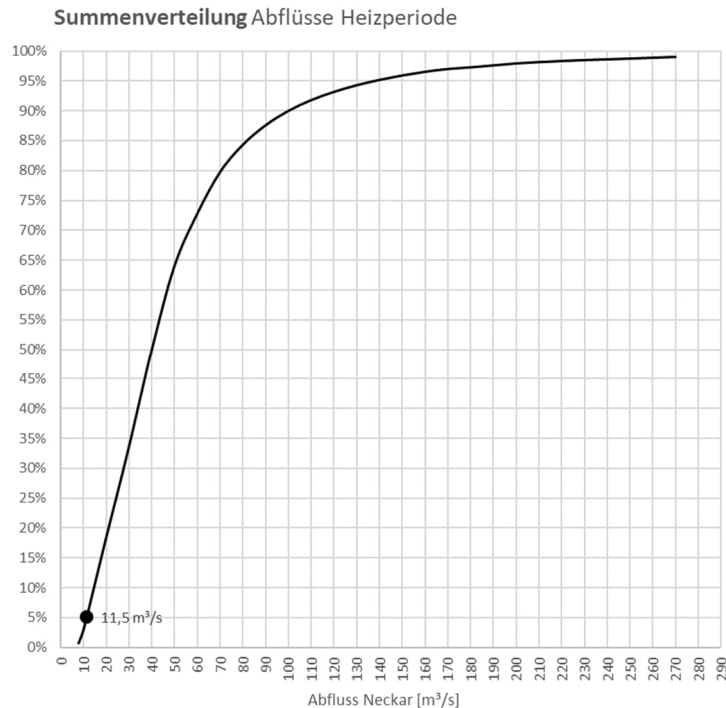


Abbildung 7: Summenverteilung der Neckarabfluss für die Jahre 2011 – 2020.

### 3.2 Definition Gesamtpotenzial der Wärmequelle

Für die Bestimmung des Gesamtwärmepotenzials des Neckars im Raum Stuttgart wird die Vorgabe der Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg berücksichtigt, entsprechend der sich die Gewässertemperatur bei Abkühlung um insgesamt maximal 2 K (kumulativer Effekt aller Einleitungen) ändern darf. Eine lokale Abkühlung des Neckars um 3 K wird von der Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg jedoch als vertretbar angesehen.

Mit der vorgegeben maximalen Abkühlung um 2 K und der vorstehend ermittelten minimalen Neckarwasser-Abflussmenge von 11,5 m³/s ergibt sich das Gesamtpotenzial der Flusswärme  $\dot{Q}_{FW}$  zu:

$$\dot{Q}_{FW} = c * \rho * \dot{V}_{TW} * \Delta T \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{FW} = 4,19 \frac{kJ}{kg * K} * 1.000 \frac{kg}{m^3} * 11,5 \frac{m^3}{s} * 2 K \quad (2.1)$$

$$\dot{Q}_{FW} = 96,4 MW \quad (2.2)$$

Bei den in Kapitel 4.1.1 „Wärmenetz mit zentralen Großwärmepumpen“ und Kapitel 0 „

Wärmenetz mit dezentralen Wärmepumpen“. definierten Netz-Kenndaten ergibt sich ein COP-Wert für die Wärmepumpen von 3,5, daraus berechnet sich die über die Wärmepumpe erzeugbare Heizleistung  $\dot{Q}_{HL}$  zu:

$$\dot{Q}_{HL} = \dot{Q}_{FW} * \frac{COP}{COP - 1} \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{HL} = 96,4 \text{ MW} * \frac{3,5}{3,5 - 1} \quad (3.1)$$

$$\dot{Q}_{HL} = 135 \text{ MW} \quad (3.2)$$

Bei einer angenommenen Versorgung von Wärmeabnehmern mit einem über das Jahr konstanten Bedarf mit vorstehender Heizleistung ergibt sich ein theoretisches Gesamtwärmepotenzial  $Q_{HL,th.}$  von:

$$Q_{HL,th.} = 1.180 \text{ GWh/a} \quad (4)$$

Es ist zu beachten, dass das theoretische Gesamtwärmepotenzial des Neckars im Stuttgarter Einzugsbereich folgenden Einschränkungen unterliegt:

- Keine Berücksichtigung der witterungsabhängig benötigten Heizleistung
- Keine Berücksichtigung der Zeitdauer, in welcher die untere Grenztemperatur des Neckarwassers von +5 °C unterschritten wird und deshalb eine Nutzung der Wärmepumpe nicht möglich ist
- Keine Berücksichtigung der Zeitdauer, in welcher der minimale Abfluss von 11,5 m³/s (5. Perzentil) unterschritten wird

### 3.3 Bestimmung technisch nutzbares Wärmepotenzial

Im Gegensatz zum theoretischen Gesamtwärmepotenzial werden bei der Bestimmung des technisch nutzbaren Wärmepotenzials die Zeiten:

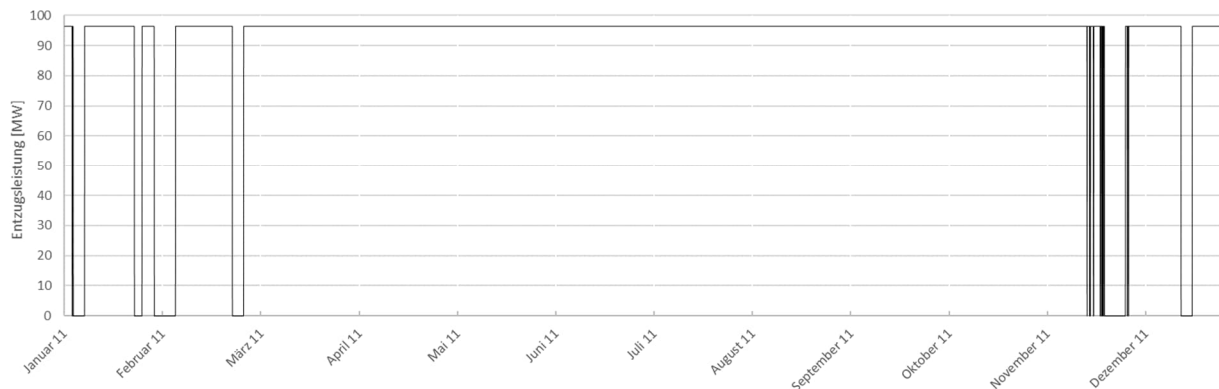
- in der die untere Grenztemperatur des Neckarwassers von +5 °C bzw.
- in der der minimale Abfluss von 11,5 m³/s (5. Perzentil) unterschritten wird

entsprechend folgender Vorgehensweise berücksichtigt:

Die zeitabhängige Entzugsleistung (Wärmepotenzial des Neckars im Raum Stuttgart) wird entsprechend Formel (2.1), in Abhängigkeit der gemittelten Neckarwassertemperaturen und Neckarwasser-Abflussmengen berechnet.

In nachfolgender Abbildung 8 ist die berechnete Entzugsleistung beispielhaft für das **Jahr 2011** dargestellt:

**Technisches Gesamtpotenzial für Jahr 2011 der Real-Variante**  
in Abhängigkeit der Flusstemperatur und des Trockenwetterabfluss



**Abbildung 8:** Stundenmittelwerte der technisch nutzbaren Entzugsleistung des Jahres 2011.

Mit der Wärmepumpe ist die Nutzung des Wärmepotenzials in Zeiten mit einer Temperatur des Neckarwassers von weniger als +5 °C und/oder mit einem Abfluss von weniger als 11,5 m³/s nicht möglich; die Entzugsleistung zu diesen Zeiten wird deshalb mit „null“ ausgewiesen. Außerhalb dieser Zeiten besteht die Beschränkung der Abkühlung der Gewässertemperatur um insgesamt maximal 2 K (kumulativer Effekt aller Abkühlung), deswegen beträgt die Entzugsleistung entweder 100 % oder 0 %.

Abbildung 8 lässt erkennen, dass im Jahr 2011 im Zeitraum der Heizperiode zeitweise kein Wärmeentzug möglich war. In den übrigen untersuchten Jahren zeigt sich ein ähnliches Verhalten. Grundsätzlich muss zu diesen Zeiten die Wärmeversorgung über Redundanz- bzw. Spitzenlast-Wärmeerzeuger abgesichert sein und die Wärmepumpenanlage ist entsprechend auszurüsten.

In nachfolgender Tabelle 1 sind die technisch nutzbaren Wärmepotenziale (Entzugs- und Heizmengen) für alle Jahre des betrachteten Zeitraums unter Berücksichtigung der unteren Grenztemperatur des Neckarwassers und des minimalen Abflusses auf Basis der Werte der Realvariante aufgeführt.

**Tabelle 1:** Technisch nutzbare Entzugs- und Heizmengen

Jahr	Entzugsmenge (Umweltwärme)	Heizmenge
	[GWh/a]	[GWh/a]
2011	780	1.092
2012	761	1.066
2013	718	1.006
2014	828	1.160
2015	796	1.115
2016	749	1.049
2017	738	1.033
2018	598	837
2019	765	1.071
2020	690	966
<b>Durchschnitt</b>	<b>742</b>	<b>1.040</b>



Die Heizmenge ist mit einem COP-Wert für die Wärmepumpen von 3,5 berechnet.

Zusammenfassend kann festhalten werden, dass das technisch nutzbare Wärmepotential bei Nutzung von Umweltwärme aus dem Neckar im Raum Stuttgart zu Heizzwecken rund

$$Q_{HL} = 1.040 \text{ GWh/a} \quad (5)$$

beträgt und somit rund 12 % kleiner ist als das theoretische Gesamtwärmepotenzial in Höhe von 1.180 GWh/a.

## 4 HEIZSYSTEM

Im Rahmen der gegenständlichen Potenzialanalyse wird unter dem Heizsystem der Verbund aus:

- dem Wärmenetz zur Verteilung der Wärme an die angeschlossenen Verbraucher
- den Wärmepumpen zur Erzeugung der Heizwärme über die Umweltwärme aus dem Neckar
- dem Einlaufbauwerk zur Entnahme des Neckarwassers und
- dem Auslaufbauwerk zur Rückführung des abgekühlten Neckarwassers verstanden.

### 4.1 Wärmenetze

Wärmenetze unterscheiden sich vor allem hinsichtlich ihrer Vorlauftemperaturen und können in ihrer zeitlichen Entwicklung in fünf Generationen wie folgt klassifiziert werden:

1. <b>Generation</b> Dampfnetze mit einer Vorlauftemperatur	< 200 °C
2. <b>Generation</b> Heißwassernetze mit einer Vorlauftemperatur	> 110 °C
3. <b>Generation</b> Heißwassernetze mit einer Vorlauftemperatur	< 100 °C
4. <b>Generation</b> Niedertemperaturnetze mit einer Vorlauftemperatur	< 70 °C
5. <b>Generation</b> Kalte Nahwärmenetze mit einer Vorlauftemperatur	< 30 °C

Es wird darauf hingewiesen, dass diese Klassifizierung in den verschiedenen Literaturquellen nicht konsistent verwendet wird und daher beispielhaft zu verstehen ist.

Im Rahmen der gegenständlichen Potenzialanalyse sind nur Wärmenetze der 4. und 5. Generation zur Wärmeverteilung an die Verbraucher relevant.

Wärmenetze der 4. Generation mit konventioneller Wärmeerzeugung arbeiten mit einer Spreizung als Temperaturdifferenz des Vor- und Rücklaufs zwischen 15 K bis 20 K sofern höhere Vorlauftemperaturen bis 70 °C verwendet werden. Bei niedrigeren Vorlauftemperaturen – wenn z.B. zur Wärmeerzeugung Heizsysteme mit Brennwerttechnik eingesetzt werden – liegt die Spreizung zwischen 10 K bis 15 K.

Für das Wärmenetz der 4. Generation zum Transport der Wärme von einer zentralen Wärmepumpe zu den Verbrauchern wird für die Auslegung der Wärmepumpen und der Dimensionierung des Verteilnetzes in Anlehnung an vorstehende Temperaturwerte von einer:

- **Vorlauftemperatur** von 55 °C und
- **Rücklauftemperatur** von 45 °C

ausgegangen. Voraussetzung für die vergleichsweise niedrige Vorlauftemperatur ist eine energetische Sanierung der mit Wärme zu versorgenden Bestandsgebäude.

Wärmenetze der 5. Generation arbeiten ihrer Definition nach mit einer Vorlauftemperatur von max. 30 °C und häufig mit nur 10 °C bis 12 °C, wenn z.B. oberflächennahe Geothermie als Wärmequelle genutzt wird.

Voraussetzung für die Nutzung dieses Temperaturniveaus ist der Einsatz dezentraler Wärmepumpen an den Verbrauchsstellen, welche das Temperaturniveau der Wärme auf die individuellen Belange zur Gebäudeheizung erhöhen. Die Rücklauftemperatur dieser Wärmepumpen ist üblicherweise um rd. 3 K erniedrigt.

Für das Wärmenetz der 5. Generation zum Transport der Wärme zu den dezentralen Wärmepumpen der Verbraucher wird für die Dimensionierung des Verteilnetzes in Anlehnung an vorstehende Temperaturwerte von einer **Spreizung** als Temperaturdifferenz des Vor- und Rücklaufs von rd. **3 K** ausgegangen.

#### Wärmeverteilung

Die Verteilung der Wärme zu den einzelnen Verbrauchsstellen ist grundsätzlich davon abhängig, ob zentrale Großwärmepumpen für die einzelnen zu versorgenden Quartiere oder dezentrale Wärmepumpen an den Verbrauchsstellen eingesetzt werden.

Im Fall zentraler Großwärmepumpen werden die Verbrauchsstellen mit bereits auf nutzbares Temperaturniveau erwärmtes Heizwasser versorgt. Der Anschluss der Verbrauchsstellen erfolgt üblicherweise über im Hausanschlussraum installierte Wärmeübergabestationen der einzelnen Gebäude, über die eine hydraulische Trennung des Heizwassers des primären Wärmenetzes erfolgt. Das Wärmenetz ist entsprechend vorstehender Klassifizierung ein Niedertemperaturnetz der 4. Generation.

Der Platzbedarf der in den einzelnen Gebäuden zu installierenden Wärmeübergabestationen ist gering, die Temperaturspreizung von Vor- und Rücklauf des primären Wärmenetzes von rd. 10 K ermöglicht eine entsprechend kompakte Dimensionierung der Rohrleitungen.

Im Fall dezentraler Wärmepumpen erfolgt die Erwärmung des Heizwassers auf nutzbares Temperaturniveau lokal an den einzelnen Verbrauchsstellen. Die dezentralen Wärmepumpen werden in den einzelnen Gebäuden installiert. Der Anschluss der Wärmepumpen erfolgt üblicherweise direkt an das externe Wärmenetz; d.h. der Verdampfer der Wärmepumpe wird vom Heizwasser des primären Wärmenetzes durchströmt. Das Wärmenetz ist entsprechend vorstehender Klassifizierung ein kaltes Nahwärmenetz der 5. Generation.

Der Platzbedarf der in den einzelnen Gebäuden zu installierenden Wärmepumpen ist vergleichsweise hoch, die Temperaturspreizung von Vor- und Rücklauf des primären Wärmenetzes von rd. 3 K resultiert in größeren Rohrleitungsdurchmessern, die Rohrleitungen können jedoch mit geringerem Aufwand verlegt werden können. Das Wärmeträgermedium im primären Wärmenetz ist eine Sole (Glykol-Wasser-Gemisch mit Korrosionsinhibitoren).

#### 4.1.1 Wärmenetz mit zentralen Großwärmepumpen

Der Verdampferkreislauf der Wärmepumpe ist über einen Zwischenkreis-Wärmetauscher von Neckarwasser hydraulisch getrennt, um eine Kontamination des Neckarwassers mit Kältemittel und Kältemaschinenöl auszuschließen.

Um die Gefahr einer Vereisung des rückgespeisten Neckarwassers zu vermeiden, wurde eine Grenztemperatur von +5 °C für das entnommene Neckarwasser festgelegt. Im Rahmen dieser Potenzialanalyse wird davon ausgegangen, dass bei Temperaturen unterhalb dieser Grenze die Großwärmepumpe nicht betrieben wird und die erforderliche Heizleistung zur Versorgung der Verbraucher über elektrische Durchlauferhitzer erfolgt.

Beide Wärmeerzeuger (Großwärmepumpe und Durchlauferhitzer) können parallel betrieben werden; die Wärmeerzeugung kann somit mit dem Durchlauferhitzer als Redundanz- bzw. Spitzenlast-Wärmeerzeuger bivalent erfolgen.

Das in der Technikzentrale erwärmte Wasser wird über ein Wärmenetz (Niedertemperaturnetz; VL-Temperatur 55 °C, RL-Temperatur 45 °C) zu den Verbrauchern transportiert. Die Einspeisung in das Wärmenetz erfolgt aus Redundanzgründen über 3 x 50 % Netzpumpen.

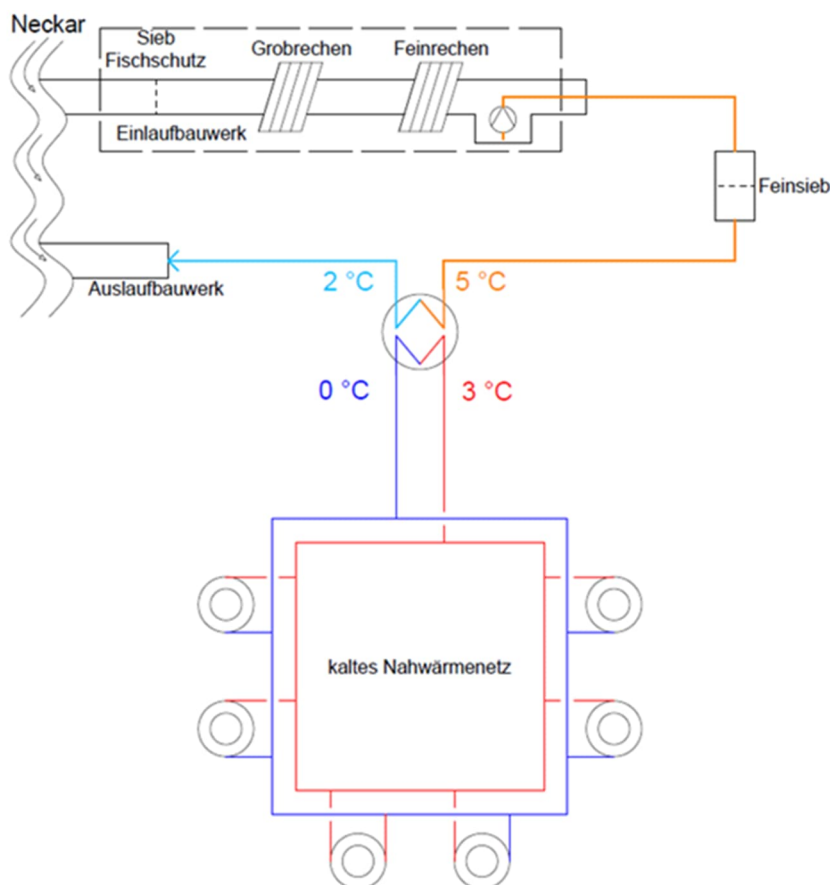
Nachfolgende Abbildung zeigt das Fließschema für ein Wärmenetz mit einer zentralen Großwärmepumpe für eine beispielhafte Heizleistung von 10 MW:



#### 4.1.2 Wärmenetz mit dezentralen Wärmepumpen

Die Erwärmung des Heizwassers auf nutzbares Temperaturniveau erfolgt über in den einzelnen Gebäuden installierte Wärmepumpen mit einer dem individuellen Wärmebedarf des Gebäudes entsprechender Leistung.

Nachfolgende Abbildung zeigt das Fließschema für ein Wärmenetz mit dezentralen Wärmepumpen:



**Abbildung 10:** Fließschema einer dezentralen Lösung über ein kaltes Nahwärmenetz.

Das Heizwasser wird den einzelnen Wärmepumpen über ein kaltes Nahwärmenetz zugeführt, welches mit Umweltwärme aus dem Neckar versorgt wird. Hinsichtlich der Temperaturen des Neckarwassers am Ein- und Auslaufbauwerk gelten dieselben Vorgaben wie im Fall des Wärmenetzes mit zentralen Großwärmepumpen.

Da die Verdampfer der Wärmepumpen vom Heizwasser des primären Wärmenetzes durchströmt werden und da über diese Wärmepumpen eine Abkühlung des Heizwassers bis auf Temperaturen unter 0 °C möglich ist, wird als Wärmeträgermedium im primären Wärmenetz eine Sole eingesetzt und der Solekreislauf über einen Zwischenkreis-Wärmetauscher von Neckarwasser hydraulisch getrennt, um eine Kontamination des Neckarwassers auszuschließen.

Das Neckarwasser wird im Einlaufbauwerk aus Redundanzgründen durch 3 x 50 % Tauchpumpen entnommen und über den Zwischenkreis-Wärmetauscher zum Auslaufbauwerk gefördert.

Die Zirkulation der Sole im primären Wärmenetz erfolgt über die Kreislaufpumpen der Wärmepumpen; separate Pumpen im Solekreislauf sind nicht erforderlich.

Die Spreizung als Temperaturdifferenz des Vor- und Rücklaufs des primären Wärmenetzes von rd. 3 K resultiert in größeren Rohrleitungsdurchmessern, die Rohrleitungen können jedoch mit geringerem Aufwand und ohne Wärmedämmung verlegt werden.

Um die Gefahr einer Vereisung des rückgespeisten Neckarwassers zu vermeiden, wurde entsprechend der Situation der Wärmenetze mit zentralen Großwärmepumpen auch hier eine Grenztemperatur von +5 °C für das entnommene Neckarwasser festgelegt. Bei Temperaturen unterhalb dieser Grenze muss die erforderliche Heizleistung zur Redundanz- bzw. Spitzenlastversorgung der Verbraucher über zusätzliche elektrische Durchlauferhitzer bzw. über eine elektrische Zusatzheizung in den dezentralen Wärmepumpen erfolgen (monoenergetischer Betrieb). Auf eine Betrachtung der Installation von entsprechend bemessenen Wärmespeichern (Warmwasserspeicher) zur Überbrückung der Perioden mit Temperaturen unterhalb der Grenztemperatur bzw. zur Entlastung der elektrischen Zusatzheizung wurde verzichtet, da davon ausgegangen wird, dass der Raumbedarf dieser Speicher in den untersuchten Bestandsgebäuden der betrachteten Versorgungsgebiete nicht zur Verfügung steht.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass bei einem Wärmenetz mit dezentralen Wärmepumpen der Platzbedarf für die in den einzelnen Gebäuden zu installierenden Wärmepumpen vergleichsweise hoch ist und die Möglichkeiten der zwingend erforderlichen Maßnahmen zur Redundanz- bzw. Spitzenlastversorgung auf zusätzliche elektrische Durchlauferhitzer bzw. elektrische Zusatzheizungen beschränkt sind. Im Gegensatz zum Wärmenetz mit zentralen Großwärmepumpen ist die Besicherung der Wärmeversorgung auf den Endverbraucher verlagert. Dicht besiedelte Gebiete, wie die hier untersuchten Stadtteile, bieten i.d.R. nicht die Platzverhältnisse, diese Nachrüstung unterzubringen.

Die optimalen Verhältnisse für dezentrale Wärmepumpen, welche z.B. bei Nutzung oberflächennaher Geothermie als Wärmequelle in über das Jahr konstanten Vorlauftemperaturen von rd. 10 °C bis 12 °C resultieren, sind im gegenständlichen Anwendungsfall nicht gegeben. Aus diesen Gründen wird auf eine weitergehende Betrachtung von Wärmenetzen mit dezentralen Wärmepumpen verzichtet.

## 4.2 Wärmepumpen

### 4.2.1 Allgemeines

Nachfolgend beschrieben werden Aufbau und Funktion von Wärmepumpen als Grundlage für die Auswahl einer für den gegenständlichen Einsatzzweck geeigneten Anlage.

Grundsätzlich nutzen Wärmepumpen thermische Energie aus einer Wärmequelle und machen diese auf einem höheren Temperaturniveau nutzbar.

Bei Wärmepumpen wird zwischen folgenden Technologien unterschieden:

- Kompressionswärmepumpen
- Absorptionswärmepumpen
- Adsorptionswärmepumpen

Bei einer Kompressionswärmepumpe wird infolge einer Verdichtung (Druckerhöhung) eine Temperaturerhöhung zwischen Wärmequelle und Wärmesenke erreicht. Für die Verdichtung wird ein (elektrisch angetriebener) Verdichter eingesetzt. Die Kompressionswärmepumpe nutzt den physikalischen Effekt der Verdampfungsenthalpie.

Die Absorptionswärmepumpe ist eine Wärmepumpe, bei der im Gegensatz zur Kompressionswärmepumpe die Verdichtung durch eine temperaturbeeinflusste Lösung des Kältemittels in einem Lösungs-

mittel (Sorptionsmittel) erfolgt (thermische Verdichtung). Die Absorptionswärmepumpe nutzt den physikalischen Effekt der Reaktionswärme bei Mischung zweier Flüssigkeiten oder Gase. Sie verfügt über einen Lösungsmittelkreis und einen Kältemittelkreis.

Im Lösungsmittelkreis wird das Lösungsmittel im Kältemittel wiederholt gelöst und ausgetrieben. Zum Austreiben ist thermische Energie in Form von Wärme erforderlich.

Die Adsorptionswärmepumpe ist eine Wärmepumpe, bei der ein Kältemittel an bzw. von einem festen Lösungsmittel, dem Adsorbens, oberflächlich ad- und desorbiert wird. Die Adsorptionswärmepumpe nutzt den physikalischen Effekt der Anlagerung von Stoffen auf der Oberfläche eines anderen Stoffes. Der adsorbierte Stoff (Adsorbat) haftet am Adsorbens, wobei das Adsorbat seine kinetische Energie und seine Adsorptionsenergie in Form von Wärme freisetzt. Ad- und Desorption sind reversibel. Dem Prozess wird Wärme bei der Desorption zugeführt, bei der Adsorption entnommen. Da das Adsorbens als Feststoff bei technischen Anlagen nicht in einem Kreislauf zirkuliert wird, muss zwischen Ad- und Desorption zyklisch gewechselt werden. Eine kontinuierliche Wärmeabgabe kann realisiert werden, indem man zwei oder mehrere Module einer Adsorptionswärmepumpe zueinander phasenverschoben betreibt. Adsorptionswärmepumpen werden ausschließlich im kleinen Leistungsbereich eingesetzt.

Sowohl bei Absorptionswärmepumpen als auch bei Adsorptionswärmepumpen liegt die zum Austreiben bzw. zum Desorbieren erforderliche Temperatur über der Temperatur der Nutzwärme, welche durch die Wärmepumpe für Heizzwecke zur Verfügung gestellt wird und üblicherweise durch die Verbrennung von Erdgas hergestellt wird. Letzteres und der im Vergleich zu Kompressionswärmepumpen geringe Wirkungsgrad sind Gründe, weshalb Ab- und Adsorptionswärmepumpen für Heizzwecke gegenwärtig gravierend an Bedeutung verloren haben und deshalb auf eine weitergehende Betrachtung von Ab- und Adsorptionswärmepumpen verzichtet wird.

Zur Realisierung größerer Temperaturhübe werden Wärmepumpenanlagen mehrstufig oder aus einer Kombination von Kompressionswärmepumpen mit Absorptionswärmepumpen ausgeführt. Die für die gegenständliche Potenzialstudie gewählte Vorlauftemperatur des primären Wärmenetzes von 55 °C erfordert nach gegenwärtigem Kenntnisstand jedoch keine mehrstufige Verdichtung z.B. in Form eines kaskadierten Wärmepumpensystems.

Bei elektrisch angetriebenen Kompressionswärmepumpen wird zwischen folgenden Leistungen unterschieden:

- thermische (Abgabe-)Leistung  $\dot{Q}_{Ab}$
- elektrische (Aufnahme-)Leistung  $P_{el}$
- Wärmeleistung der Wärmequelle  $\dot{Q}_{Zu}$

Die thermische (Abgabe-)Leistung  $\dot{Q}_{Ab}$  ist die Summe aus der elektrischen (Aufnahme-)Leistung  $P_{el}$  und der Wärmeleistung der Wärmequelle  $\dot{Q}_{Zu}$ .

### Temperaturhub

Der durch die Wärmepumpe zu leistende Temperaturhub ist eine für die Auslegung wesentliche Kenngröße. Der Temperaturhub beschreibt die Differenz zwischen der Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes ( $T_{VI, FW}$ ) und der Vorlauftemperatur der Wärmequelle ( $T_{VI, Quelle}$ ), also der höchsten Temperaturdifferenz. Der Temperaturhub steht in direktem Zusammenhang mit der Effizienz einer WP. Je größer der Temperaturhub, desto mehr Verdichterleistung ist erforderlich; die Effizienz sinkt.

### Coefficient-of-Performance (COP)

Der COP ist eine dimensionslose Kennzahl für die Effizienz einer Wärmepumpe, welche die erzeugte Wärmeenergie ins Verhältnis mit der (elektrischen) Antriebsenergie (z.B. Kompressor) setzt. Der COP wird unter Auslegungsbedingungen ermittelt und dient der Vergleichbarkeit von Wärmepumpen.



Der COP berechnet sich wie folgt:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{Ab}}{P_{el}} \quad (6)$$

#### Jahresarbeitszahl (JAZ)

Die Ermittlung der JAZ erfolgt individuell unter realen Bedingungen und berücksichtigt die Effizienz der Wärmepumpe über das gesamte Jahr und somit über alle Betriebszustände. Demzufolge kann die JAZ erst nach einem Jahr Betrieb der WP bestimmt werden.

Gesetzliche Anforderungen und Fördervoraussetzungen beziehen sich ausschließlich auf die JAZ. In der JAZ wird ebenfalls der Verbrauch von Energie für Nebenaggregate (z.B. Umwälzpumpen, Lüftung etc.) berücksichtigt.

Die JAZ berechnet sich wie folgt:

$$JAZ = \frac{Q_{ab}}{W_{zu}} \quad (7)$$

#### Seasonal-Coefficient-of-Operation (SCOP)

Der SCOP wird gemäß DIN EN 14825 bestimmt und wie auch der COP üblicherweise durch den Wärmepumpenhersteller ermittelt. Der SCOP wird für verschiedene angenommene Außentemperaturen berechnet und ist damit präziser als der allgemeine COP.

Für die Berechnung des SCOP wird der gesamte elektrische Energieverbrauch eines Gerätes berücksichtigt, einschließlich des Energieverbrauchs in verschiedenen Betriebszuständen wie z.B. dem Bereitschaftsmodus.

Der SCOP berechnet sich wie folgt:

$$SCOP = \frac{P_{design} * h_{he}}{W_{el,jahr}} \quad (8)$$

#### 4.2.2 Kältemittel

Nach DIN 8960 erfolgt die Benennung von Kältemittel mit dem Buchstaben R, welcher von drei Ziffern gefolgt wird, unter Umständen kann den Ziffern ein Buchstabe angehängt sein.

Die Wahl des passenden Kältemittels ist abhängig von:

- den Temperaturanforderungen der Wärmesenke (Vorlauftemperatur)
- der Klimaschädlichkeit des Kältemittels, insbesondere den ODP und GWP-Werten, welche in der EU-Verordnung 517/2014 (F-Gas-Verordnung) reglementiert sind
- der Sicherheit, insbesondere der Entflammbarkeit und Giftigkeit, welche in der Richtlinie nach DIN 378-1 geregelt ist.

Entsprechend dem „Vorschlag für eine Verordnung des europäischen Parlaments und des Rates über fluorierte Treibhausgase, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 517/2014“ vom 05.04.2022 soll der **GWP-Wert** von Kältemitteln ab 01.01.2025 bei **maximal 150** liegen.



Neben der Umweltverträglichkeit wird das Kältemittel im Wesentlichen für die anwendungsspezifischen Temperaturen im Verdampfer und im Kondensator der Wärmepumpe ausgewählt. Entscheidend für die Auswahl des Kältemittels sind darüber hinaus u.a. die Leistung der Wärmepumpe, die Bauart des Verdichters, die Druckauslegung des Kältemittelkreislaufes und die Erfahrung des Herstellers der Wärmepumpe. Eine einfache Auswahl eines Kältemittels nur auf Basis der Quellen- und Senktemperaturen ist somit nicht möglich.

Kältemittel, Öl und ggf. Kalt- oder Warmsolen sind überwiegend wassergefährdende Stoffe. Die Wassergefährdungsklasse eines Stoffes ist der Rechtsverordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) oder der Datenbank Rigoletto des Umweltbundesamtes zu entnehmen. Die Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe (VwVwS) ist seit 1. August 2017 durch die neue Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) aufgehoben.

Gemäß § 3 AwSV werden Stoffe wie folgt klassiert:

- Nicht wassergefährdend
- Allgemein wassergefährdend (z.B. Wirtschaftsdünger, etc.)
- Wassergefährdungsklasse 1 (WGK 1) Schwach wassergefährdend
- Wassergefährdungsklasse 2 (WGK 2) Deutlich wassergefährdend
- Wassergefährdungsklasse 3 (WGK 3) Stark wassergefährdend

Z.B. sind CO<sub>2</sub>, Propan und R1234ze der Gruppe „nicht wassergefährdend“ zugeordnet; Ethylen- und Propylenglykol, R134a, R407C und R404A zur WGK 1, Ammoniak zur WGK 2.

Bei Wärmepumpenanlagen ist neben den Kältemitteln auch das Ölinventar zu bewerten. Die Sicherheitsdatenblätter weisen für Kältemaschinenöle (Frischware) oft WGK 1 aus, während allgemeine Mineralöle in WGK 2 eingestuft sind. Ob im Falle einer Leckage das ausgelaufene Kältemaschinenöl mit der WGK bewertet wird, welche die Frischware darstellt oder als Altöl (Abfall) mit der WGK 3 zu bewerten ist, ist derzeit nicht abschließend geklärt. Aus Sicherheits- und rechtlichen Gründen wird Kältemaschinenöl von den Anlagenbauern häufig als Altöl, WGK 3 eingestuft.

Entsprechend den für gegenständliche Potentialanalyse eingeholten Richtpreisangeboten wird davon ausgegangen, dass das Kältemittel R-717 (Ammoniak, NH<sub>3</sub>) eingesetzt werden wird.

R-717 ist klassifiziert als ein natürliches, nicht ozonschichtabbauendes und in der Luft nicht stabiles Kältemittel der WGK 2 und einem ODP- und GWP-Wert von null. Zu den weiteren Eigenschaften zählen Toxizität und Brennbarkeit, die besondere Maßnahmen u.a. bei der Gebäudebelüftung erfordern. Entsprechend 4. BImSchV sind Anlagen mit einem R-717-Inventar von  $\geq 3$  Tonnen genehmigungsbedürftig. Hinsichtlich der Genehmigungsbedürftigkeit kann davon ausgegangen werden, dass mit R-717 betriebene Wärmepumpen mit einer Heizleistung von  $< 10$  MW auch unter Berücksichtigung der Redundanz ein geringeres Inventar aufweisen.

Um eine Kontamination des Neckarwassers mit Kältemittel und Kältemaschinenöl auszuschließen, wird für die Wärmepumpen im Rahmen dieser Potentialstudie ein zusätzlicher Wärmetauscher vorgesehen, der das Neckarwasser vom Verdampferkreislauf der Wärmepumpe hydraulisch trennt. Die Grädigkeit in der Größenordnung von rd. 2 K und die Kosten dieses Wärmetauschers sind bei der Auslegung und Kostenermittlung der Wärmepumpenanlage berücksichtigt.

#### 4.2.3 Zusammenfassung Eigenschaften und Auslegungsdaten

Dem vorstehend beschriebenen entsprechend können die wesentlichen Eigenschaften und Auslegungsdaten der einzelnen Großwärmepumpen in Kombination mit einem Niedertemperaturnetz der 4. Generation für den gegenständlichen Einsatzfall wie folgt zusammengefasst werden:

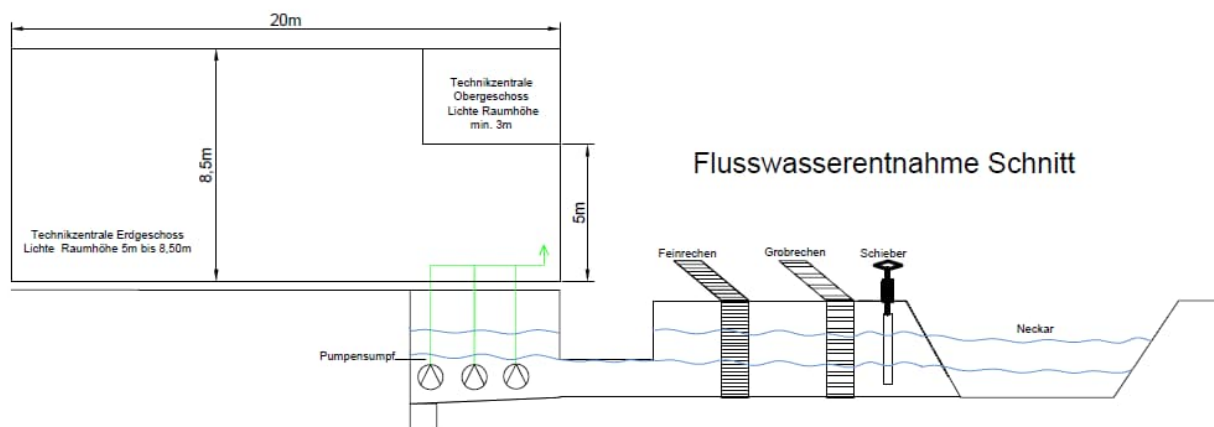
- untere Grenztemperatur +5 °C für die Neckarwasserentnahme
- Vorlauftemperatur von 55 °C und Rücklauftemperatur von 45 °C im Verteilnetz
- Abkühlung (lokal) des rückgespeisten Neckarwassers um 3 K
- Wärmetauscher zur hydraulischen Trennung von Neckarwasser vom Verdampferkreislauf der Wärmepumpe
- Temperaturhub von rd. 52 K, der durch die Wärmepumpe zu leisten ist
- COP-Wert der Wärmepumpen von 3,5
- 2 x 50 % Wärmepumpen
- voraussichtlich Verwendung von Kältemittel R-717 (Ammoniak, NH<sub>3</sub>)
- voraussichtlich einstufige Ausführung der Wärmepumpe
- Redundanz- bzw. Spitzenlast-Wärmeerzeuger mittels elektrischer Durchlauferhitzer

#### 4.3 Einlaufbauwerk

Für die Flusswasserentnahme ist ein Einlaufbauwerk (siehe Abbildung 11) aus Stahlbeton im mehrstufigen Ausbau vorgesehen. Bei den Stahlbetonbauwerken wird ein Überflutungsschutz und Schutz vor Auftrieb berücksichtigt.

Das Stahlbetonbauwerk wird in abgedichteten Spundwandbaugruben mit temporärer Aussteifung erstellt.

Das Einlaufbauwerk besteht aus einem Rechteckprofilkanal, welcher mit einer Grob- und Feinrechenanlage sowie einer befahrbaren Gitterrostabdeckung ausgerüstet ist. Es ist beabsichtigt eine Tauchwand vorzusehen und/oder den Winkel des Einlaufs so zur Fließrichtung des Neckars auszurichten, dass Treibgut vorbeigeführt und nicht aktiv angeschwemmt wird.



**Abbildung 11:** Schematische Darstellung Seitenansicht der Flusswasserentnahme

Die Abmessungen der Wasserefassung des Einlaufbauwerkes werden im Wesentlichen bestimmt durch:

- die Anströmgeschwindigkeit der Wasserefassung von **maximal 0,1 m/s** (konservative Annahme) zum Schutz von Fischen
- die zur Versorgung der Wärmepumpe im Auslegungsfall erforderliche Menge an Neckarwasser

Konkrete Vorgaben zur Anströmgeschwindigkeit erfolgen durch die Genehmigungsbehörde.

Bei einer Wärmepumpenanlage mit einer **Heizleistung von 10 MW** und der hierfür erforderlichen Flusswassermenge von 0,57 m<sup>3</sup>/s berechnet sich die Einströmfläche der Wasserefassung zu **rd. 6 m<sup>2</sup>**.

Durch einen motorisch betätigten Absperrschieber kann das Einlaufbauwerk vom Fluss isoliert werden, um z.B. Wartungsarbeiten am Bauwerk ausführen zu können. Treibgut und Fremdstoffe werden automatisiert entfernt durch jeweils einen in die Einlaufrinne eingelassenen Grobrechen mit einer Maschenweite von 40 mm und einem darauffolgenden Feinrechen mit einer Maschenweite von 8 mm.

Das Rechengut wird in Abfallcontainer zwischengelagert und ist durch die Müllabfuhr zu entsorgen. Schmutzwasser ist aufzufangen und der Schmutzwasserkanalisation zuzuführen.

Dem Grob- und Feinrechen folgt das aus Stahlbeton bestehende Entnahmebecken mit den Entnahmepumpen. Die Entnahmepumpen, welche als Tauchpumpen ausgeführt sind, sind nicht selbstansaugend und erfordern auch bei Niedrigwasserstand im Neckar eine Mindestüberdeckung.

Die Zuleitung des Neckarwassers von der Wasserefassung bis zu den Tauchpumpen erfolgt als Gravitationsleitung unter Ausnutzung des freien Gefälles unter Berücksichtigung des statischen Drucks des Neckars an der Stelle der Wasserefassung und des Druckverlusts des Einlaufbauwerks und dessen Einbauten. Eine größere Entfernung der Tauchpumpen von der Wasserefassung erfordert deshalb eine tiefere Aufstellung der Tauchpumpen.

#### **4.4 Auslaufbauwerk**

Das Auslaufbauwerk wird stromabwärts in ausreichendem Abstand zum Einlaufbauwerk verortet. Das abgekühlte Flusswasser wird vom Technikgebäude im Freispiegel über eine erdverlegte Rohrleitung (DN1000) zum Auslaufbauwerk geführt.

Die Herstellung des Auslaufbauwerkes erfolgt in Stahlbeton (Ortbeton oder Betonfertigteile), über abgedichtete Spundwandbaugrube mit temporärer Aussteifung. Das abgekühlte Flusswasser, das mit dem Rückspülwasser der Feinsiebanlage versetzt ist, wird impulsarm in den Neckar eingeleitet. Der Auslass erfolgt in Richtung der Neckarströmung. Zu Reinigungszwecken und zum Schutz bei Hochwasser ist im Auslaufbauwerk ein Absperrschieber vorgesehen.

Eine detailliertere Spezifikation der Ein- und Auslaufbauwerke sowie eine statische Berechnung sind im Rahmen einer weitergehenden Planung zu ermitteln.

#### **4.5 Platzbedarf der Komponenten des Heizsystems**

Nachfolgend wird der Platzbedarf der Hauptkomponenten:

- Großwärmepumpe
- Zwischenkreis-Wärmetauscher
- elektrischer Durchlauferhitzer

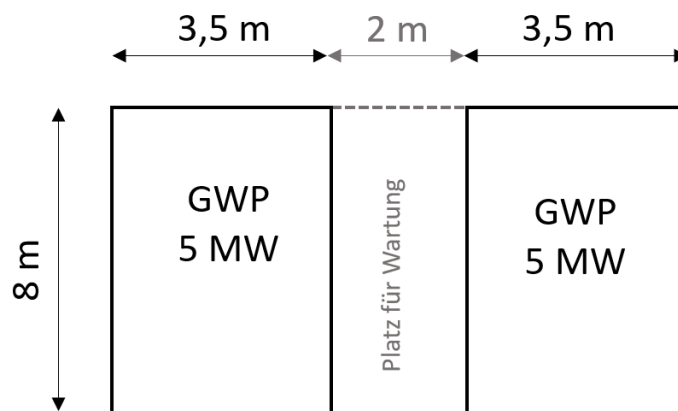
und des Wärmenetzes (erdverlegte Rohrleitungen und Tiefbau) ausgewiesen.

Eine Zusammenstellungszeichnung der Hauptkomponenten zeigt Abbildung 21, welche Grundlage für die Kostenschätzung des Bauwerks der Technikzentrale ist. In dieser Abbildung sind ebenfalls die erforderlichen Nebenaggregate (Pumpen, Druckhaltung, etc.) berücksichtigt.

##### **4.5.1 Großwärmepumpen**

Aus Redundanzgründen und um einen effizienten Betrieb bei geringen Heizleistungen zu ermöglichen, werden für die einzelnen Wärmezentralen zwei Großwärmepumpen mit jeweils 50 % der benötigten Leistung vorgesehen.

Den Platzbedarf dieser Großwärmepumpen mit insgesamt 10 MW thermischer Leistung zeigt nachfolgende Abbildung:



**Abbildung 12:** Platzbedarf einer auf 10 MW thermische Leistung ausgelegten Großwärmepumpe

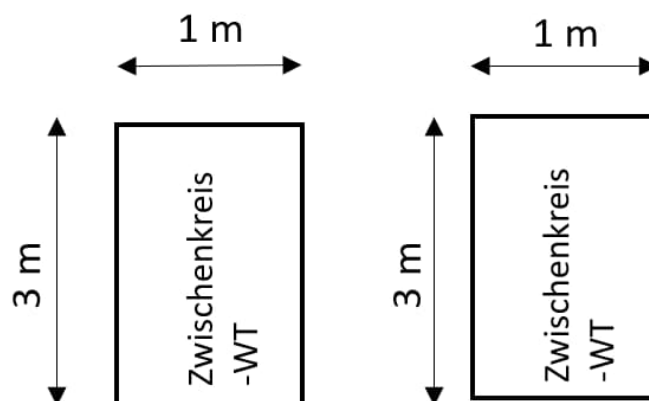
Der angegebene Platzbedarf wird im Wesentlichen durch den Verdampfer, den Verflüssiger, den Verdichter und dem Vorort-Steuerschrank der Wärmepumpen bestimmt.

Zwischen den Wärmepumpen ist ein Freiraum von **2 m** berücksichtigt, um genügend Platz insbesondere für Wartungsarbeiten am Verdichter zu haben.

#### 4.5.2 Zwischenkreis-Wärmetauscher

Zur Ermittlung des Platzbedarfs für den Zwischenkreis-Wärmetauscher gemäß nachfolgender Abbildung ist ein Wärmetauscher mit Reinigungsvorrichtung berücksichtigt.

Aus Redundanzgründen und um bei geringen Entzugsleistungen eine ausreichend hohe Strömungsgeschwindigkeit im Wärmetauscher aufrecht zu halten, werden zwei Wärmetauscher mit jeweils 50 % der benötigten Leistung vorgesehen.



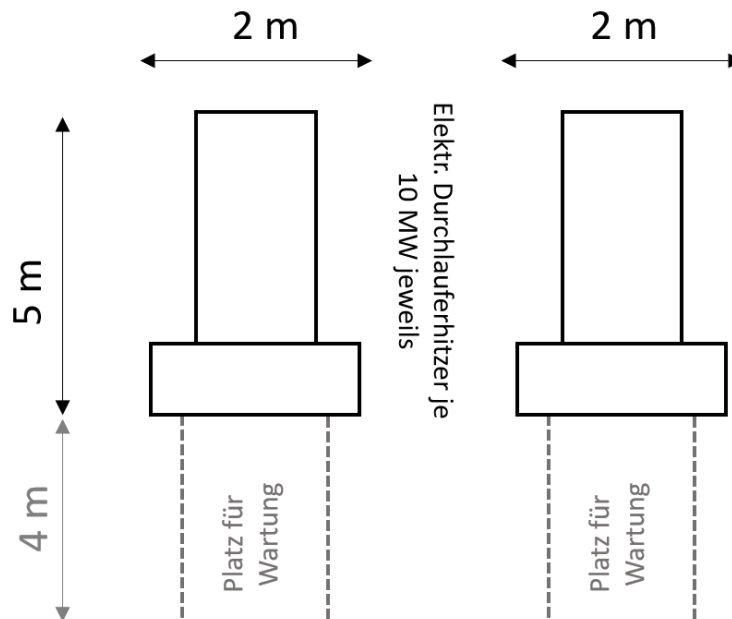
**Abbildung 13:** Platzbedarf einer auf 10 MW thermische Leistung ausgelegten GWP-Lösung.

Die Zusammenstellungszeichnung entsprechend Abbildung 21.

#### 4.5.3 Elektrischer Durchlauferhitzer

Die Redundanz- bzw. Spitzenlastversorgung der Verbraucher mit Heizwärme erfolgt über zusätzliche elektrische Durchlauferhitzer.

Zur Ermittlung des Platzbedarfs der Durchlauferhitzer gemäß nachfolgender Abbildung sind zwei liegend angeordnete Aggregate mit jeweils 100 % der benötigten Leistung berücksichtigt.



**Abbildung 14:** Platzbedarf von zwei auf je 10 MW thermische Leistung ausgelegte elektrische Durchlauferhitzer.

Für die Wartung des Heizbündels ist in Richtung des Klemmkastens ein Freiraum von 4 m berücksichtigt und in der Investitionskostenschätzung eine Hebevorrichtung für den Ausbau berücksichtigt.

#### 4.5.4 Wärmenetz (erdverlegte Rohrleitungen und Tiefbau)

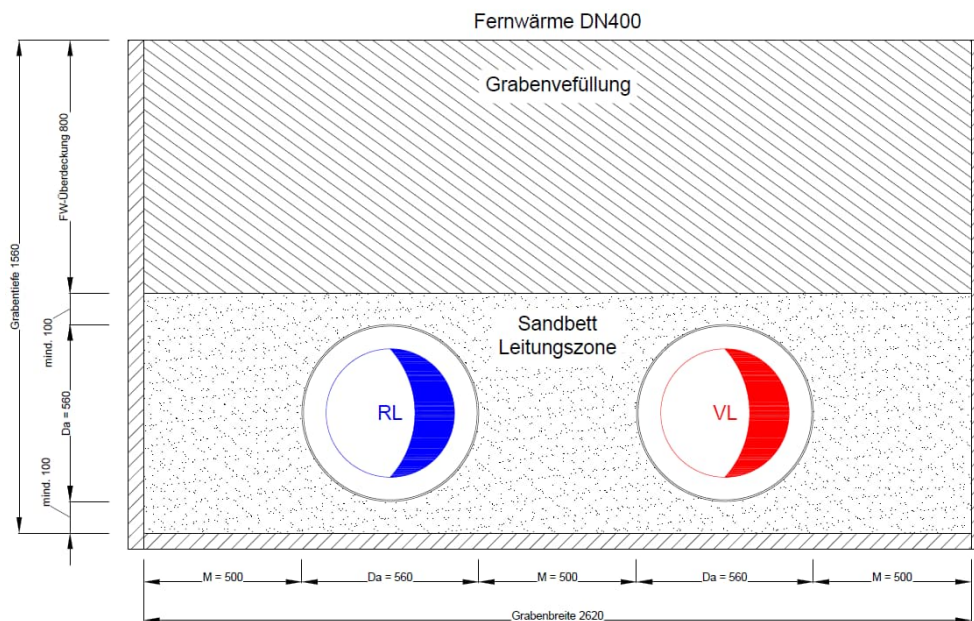
Zur Verteilung der Wärme von der Technikzentrale, in der sich die Großwärmepumpe befindet, zu den einzelnen Verbrauchsstellen sind erdverlegte, wärme gedämmte Kunststoffmantelrohre (KMR) berücksichtigt.

Weiterhin berücksichtigt ist eine Staffelung der Dimensionierung der Rohrleitungen wie folgt:

- Rohrmennweite **DN400** für **Transportleitung** und **Hauptleitung**
- Rohrmennweite **DN200** für die **Zweigleitungen** im Wärmenetz
- Rohrmennweite **DN40** für die **Hausanschlussleitungen** von den Zweigleitungen zum Hausanschlussraum der zu versorgenden Verbrauchsstellen

Die Dimensionierung Rohrleitung und Tiefbau für die Transportleitung, welche Grundlage für die Kostenschätzung ist, zeigt nachfolgende Abbildung für den Grabenquerschnitt und basiert auf folgenden Auslegungsdaten:

- Heizleistung 10 MW
- Spreizung Vor-/Rücklauf 10 K (VL 55 °C, RL 45 °C)
- Fließgeschwindigkeit 2 m/s
- Druckverlust 2 bar/km
- Rohrnennweite DN400
- Dämmung KMR Standard

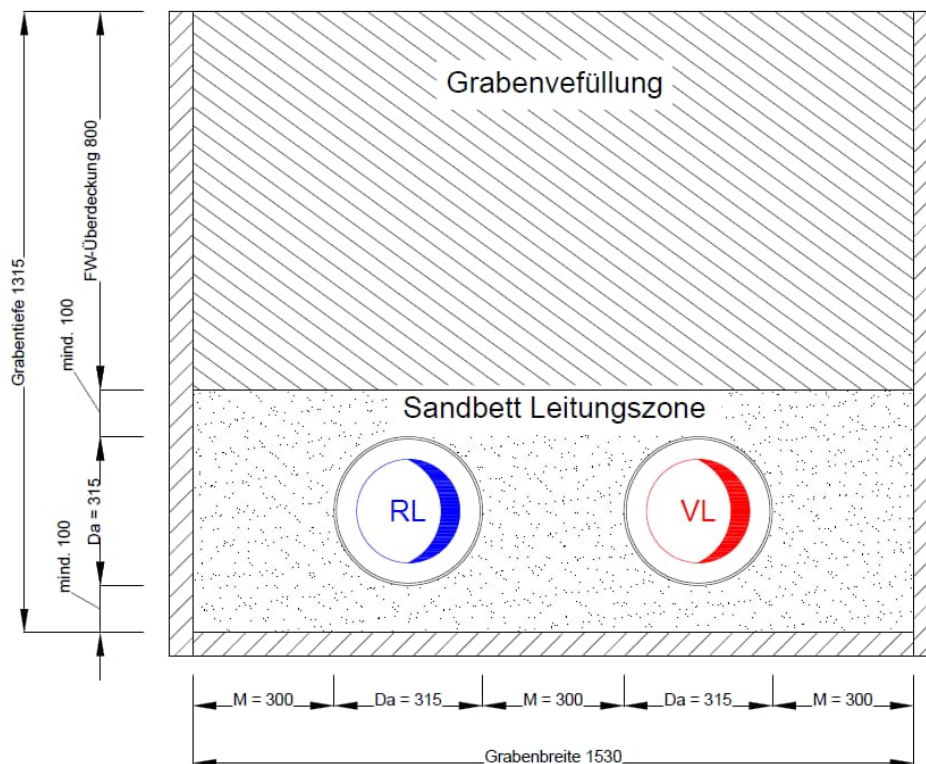


**Abbildung 15:** Grabenquerschnitt DN400 KMR-Leitung

Die Dimensionierung der Haupt- bzw. Zweigleitungen ist in folgender Abbildung 15 und Abbildung 16 dargestellt.



Fernwärme DN 200



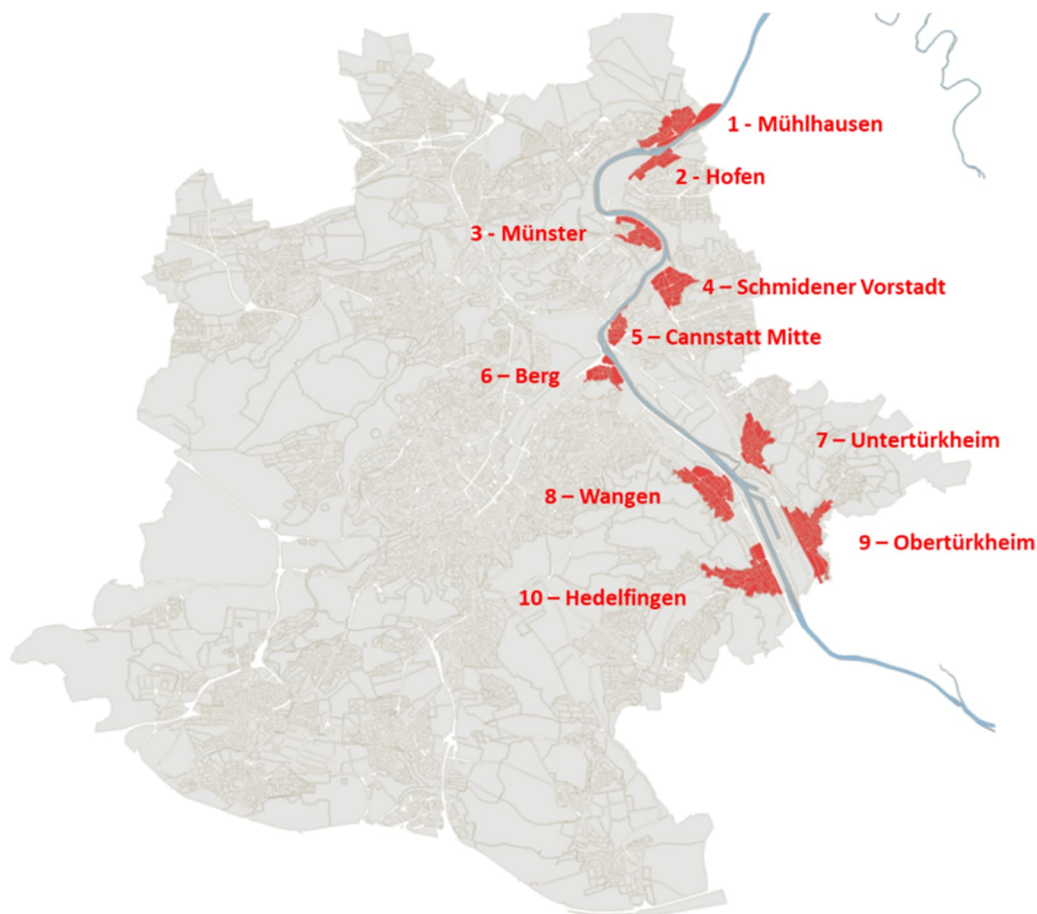
**Abbildung 16:** Grabenquerschnitt DN200 KMR-Leitung

Für die Kostenschätzung der Hausanschlussleitungen ist für alle zu versorgenden Verbrauchsstellen eine Entfernung zwischen Zweigleitung und Gebäude von 10 m berücksichtigt.

## 5 AUSWAHL GEBIETE, DIE FÜR DIE THERMISCHE NUTZUNG IN BETRACHT KOMMEN

Aus den Stadtgebiet Stuttgart wurden Stadtteile vorgegeben, die einerseits am Neckar liegen und andererseits noch nicht am Fernwärmenetz angeschlossen sind (siehe auch Kapitel 2.3). Da der Wärmebedarf der Stadtteile weit größer ist, als eine Wärmeversorgung mit Neckarwasser leisten kann, wurden nachfolgend Teil-Gebiete identifiziert.

Für die Identifizierung wurden Stadtgebiete betrachtet, bei denen ein Bedarf für ein neues Wärmenetz aus nachhaltigen Quellen besteht, die nah am Neckar liegen und die noch nicht mit Fernwärme versorgt sind. Diese Gebiete sind in Abbildung 17 dargestellt.



**Abbildung 17:** Übersicht der zu untersuchenden Stadtteile

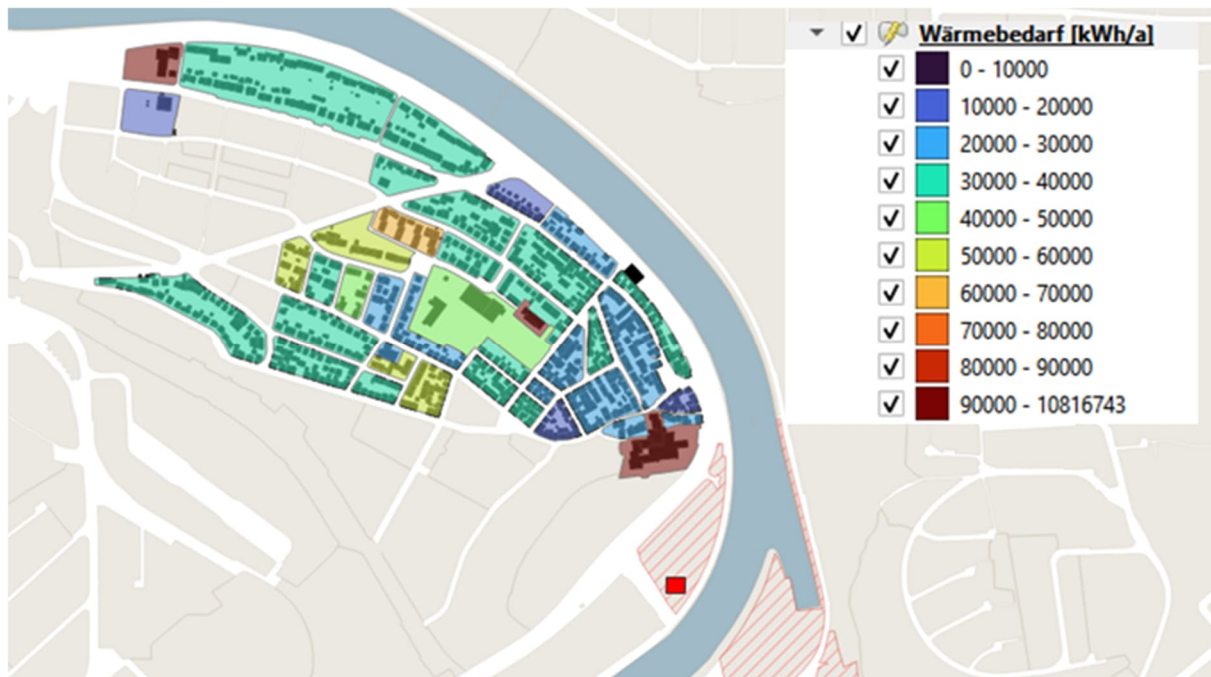
Nach der Auswahl der Stadtgebiete, wurde eine GIS-Analyse durchgeführt, um die aktuellen konventionellen Wärmeträger zu klassifizieren. Dabei wurden aus den zur Verfügung gestellten Rohdaten folgende Filter angewendet:

- Erkennung / Festlegung der Verbraucher, die bisher über die konventionelle (fossile) Wärmeträger versorgt werden (Einordnung nach installierter Energiequelle z.B. Heizöl, Kohle, Gas).
- Einstufung nach dem jährlichen Gesamtwärmebedarf der Verbraucher
- Einordnung der Heizleistungskapazität
- Bestimmung der Wärmebedarfsdichte
- Künftige/ geplante versorgte Oberfläche
- Anteil der Haupteigentümer / Wohneigentümergeinschaft
- Anteil der Baublöcke, die nicht geeignet für eine Luft Wasser Wärme Pumpe sind.



## 5.1 Verortung potenzieller Wärmeverbraucher

Es wurden die einzelnen Flurstücke/Cluster anhand ihrer spezifischen, flächenbezogenen Kriterien analysiert. Die grafische Darstellung erlaubt es, Rückschlüsse auf den spezifischen Energiebedarf zu ziehen (s. Anlage I).



**Abbildung 18:** Übersicht geeigneter Verbraucher, eingefärbt nach spezifischem Wärmebedarf

In Anlage I, Kapitel 3 sind die Übersichten aller Stadtteile enthalten.

## 5.2 Auswahl der Verbraucher, die bisher über konventionelle Wärmeträger versorgt werden

Aus den vorhandenen GIS-Daten wurden Verbraucher selektiert, die noch von folgenden Energieträgern abhängig sind:

**Gas, Erdgas, Öl, Erdöl, Kohle**

In der nachfolgenden Abbildung 19 wird exemplarisch anhand des Beispiels vom Stadtgebiet Münster aufgezeigt, zu welchem Anteil die einzelnen Abnehmer von fossilen Energieträgern in den Stadtgebieten versorgt werden. Es zeigt sich, dass der fossile Energieverbrauch in diesem Stadtgebiet im Mittelwert bei 93,5 % des Gesamtverbrauchs liegt. Somit können die Verbraucher bestimmt werden, die priorisiert an ein mögliches Wärmenetz angeschlossen werden sollen. In Anlage I, Kapitel 5, sind die jeweiligen Übersichten der restlichen Stadtteile enthalten.



**Abbildung 19:** Übersicht Anteil konventionelle Wärmeträger versorgt werden, exemplarisch am Stadtteil 3 – Münster

Als Ergebnis der qualitativen und quantitativen Datenanalyse der räumlichen Information, konnten die folgenden Indikatoren / Kennzahlen und ihr entsprechender Werte extrahiert werden:

**Tabelle 2:** Kennzahlen / Indikatoren je Stadtteil

N°	Stadtteile	*Wärmebezug Wärmekunden	gesamte Zonenfläche	Fläche un- geeignete LW-PW	Verhältnis LW-PW	Anteil fossile Energie- quelle	Privatanteil / WEG
		[MWh/a]	[m²]	[m²]	[-]	[%]	[%]
1	Mühlhausen	55.700	482.956	245.073	51%	84%	55%
2	Hofen	27.600	186.879	110.884	60%	86%	70%
3	Münster	23.000	255.121	103.960	41%	93%	56%
4	Schmidener Vorstadt	39.600	354.834	89.679	26%	95%	33%
5	Cannstatt	44.000	132.343	115.433	88%	96%	22%
6	Berg	34.700	205.992	145.638	71%	91%	18%
7	Untertürkheim	49.600	384.455	213.831	56%	76%	44%
8	Wangen	101.100	542.015	265.429	49%	93%	60%
9	Obertürkheim	46.600	575.922	342.731	60%	87%	48%
10	Hedelfingen	43.200	630.495	277.412	44%	89%	64%

*\*Die Werte betrachten die gesamte Fläche des Stadtviertels*

Die obengenannten Kennzahlen sind für die vorliegende Studie als Bewertungskriterien berücksichtigt.

### 5.3 Lastkurve – Test Referenz Jahr (TRJ / TRY)

Für die vorliegende Studie wurde das mittlere Test Referenz Jahr (TRJ) berücksichtigt. Bei den Testreferenzjahren handelt es sich um Datensätze ausgewählter meteorologischer Parameter für jede Stunde eines Jahres für unterschiedliche Regionen in Deutschland (unseren Fall, Stuttgart Umgebung). Die mittleren TRJ repräsentieren den charakteristischen Witterungsverlauf eines kompletten Jahres. Sie werden aus realen Witterungsabschnitten derart zusammengesetzt, dass Mittel und Streuung vor allem der Lufttemperatur bestmöglich zu den langjährigen monatlichen und jahreszeitlichen Mittelwerten der jeweiligen Repräsentanz-Station passen.

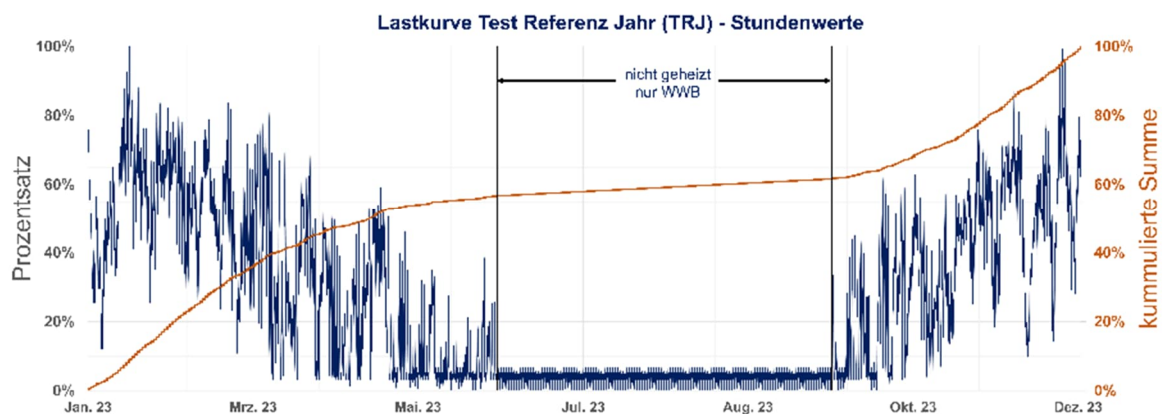


Abbildung 20: Test Referenz Jahr (TRJ) Lastkurve

Die Abbildung 20 stellt das Verhältnis des Test Referenz Jahr (TRJ) dar. Der Tageslastgang ist im Procentsatz und beträgt 2.185 Volllaststundenzahl, Lastgang mit deutlichen Spitzen für Wintermonaten. Für die Periode zwischen Juni und September, wurde nur Warmwasserbereitung (WWB) benötigt. Der Wasseranteil berücksichtigt 15%. Als abgeleitete Information ergibt sich: Grundlast vs. Spitzenlast über das gesamte Jahr und dementsprechend kann es die maximale tatsächliche Leistungskapazität je Baublock für jeden Stadtteil gerechnet werden.

Die gesamte maximale Leistungskapazität wurde für die Stadtteile durchgerechnet und dadurch können die Leitungstrassen identifiziert/festgelegt werden, die den geplanten Gebäuden versorgen.

Die verfügbaren Verbrauchswerte zeigen den Wärmeverbrauch Bestand. Diese werden nun mit Hilfe der Jahresganglinie TRJ verrechnet. Im Ergebnis ergibt sich der zu erwartende zukünftige Wärmebedarf je Abnehmer.

Mittels der Lastkurve kann nicht nur die zu erwartende maximale Leistungskapazität für jeden Stadtteil berechnet werden, sondern auch eine Bestimmung des individuellen Verbrauchers. Daraus wiederum kann dann die resultierende thermische Wirkung auf den Neckar abgeleitet werden, die dann durch numerische Modellierung simuliert werden kann.

Aus den zur Verfügung gestellten Datengrundlage wurde mit Hilfe der Lastkurve (Testreferenzjahr) der Wärmebedarf der vorsondierten Gebiete überschlägig wie folgt berechnet:

**Tabelle 3:** Übersicht Wärmebedarf Stadtteile

Stadtteile	Wärmebedarf aktuell* [MWh / Jahr]	Installierte max. Heizleistungskapazität Bestand [MW]	Max. Entzugsleistung [MW]
Mühlhausen	55.000	14,91	9,6
Hofen	27.000	5,33	3,5
Münster	21.000	10,53	6,8
Schmidener Vorstadt	39.000	13,55	8,8
Cannstatt	44.000	20,39	13,2
Berg	34.000	10,88	7
Untertürkheim	67.000	13	8,4
Wangen	78.000	23,01	14,8
Obertürkheim	38.000	18,54	12
Hedelfingen	43.000	19,32	12,5
<b>Summe</b>	<b>446.000</b>	<b>149,46</b>	<b>96,6</b>

## 6 SONDIERUNG GEEIGNETER STANDORTE

Nachfolgend werden die Schritte aufgezeigt, die zur Vorauswahl möglicher Standorte dienen und entsprechend bewertet wurden.

Der Bedarf für die Größe der Wärmezentrale ist von Stadtteil zu Stadtteil unterschiedlich. Im Rahmen dieser Studie ist es nicht möglich 10 verschiedene Anlagengrößen und resultierende Netze zu simulieren. Wichtig ist in erster Linie eine prinzipielle Bewertung der Eignung der Stadtteile und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Daher wird beispielhaft eine Wärmezentrale von 8 - 10 MW untersucht.

Am Ende soll anhand von technischen Kriterien die Eignung der Standorte für die Wärmezentrale sowie die Eignung der Stadtteile für die Errichtung eines neuen Wärmenetzes untersucht werden. Im Ergebnis wird dann ein Ranking der Standorte erstellt und die favorisierten Standorte hinsichtlich der Netzcharakteristik untersucht und verglichen.

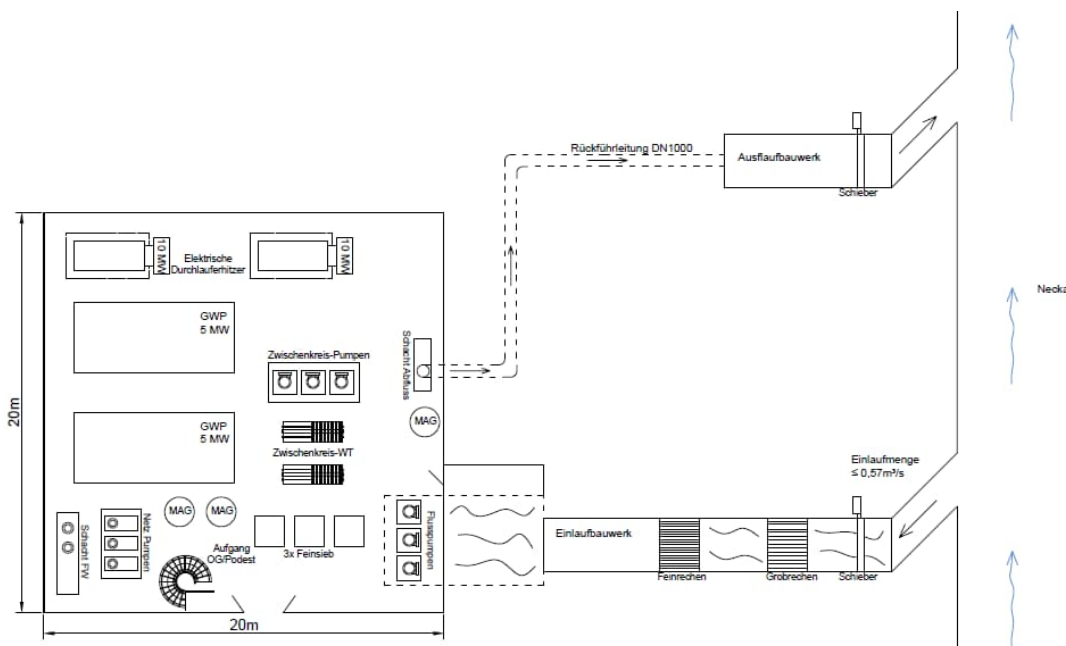
Im Rahmen dieser Potentialanalyse werden grobe Überschlagsrechnung durchgeführt und Annahmen getroffen, um die Standorte untereinander zu vergleichen.

In den weitergehenden Planungsphasen muss dann eine Dimensionierung der Wärmezentrale und des Netzes erfolgen. Nach Festlegung der technischen Anlagen-Parameter muss dann eine eingehende Standortanalyse erfolgen.

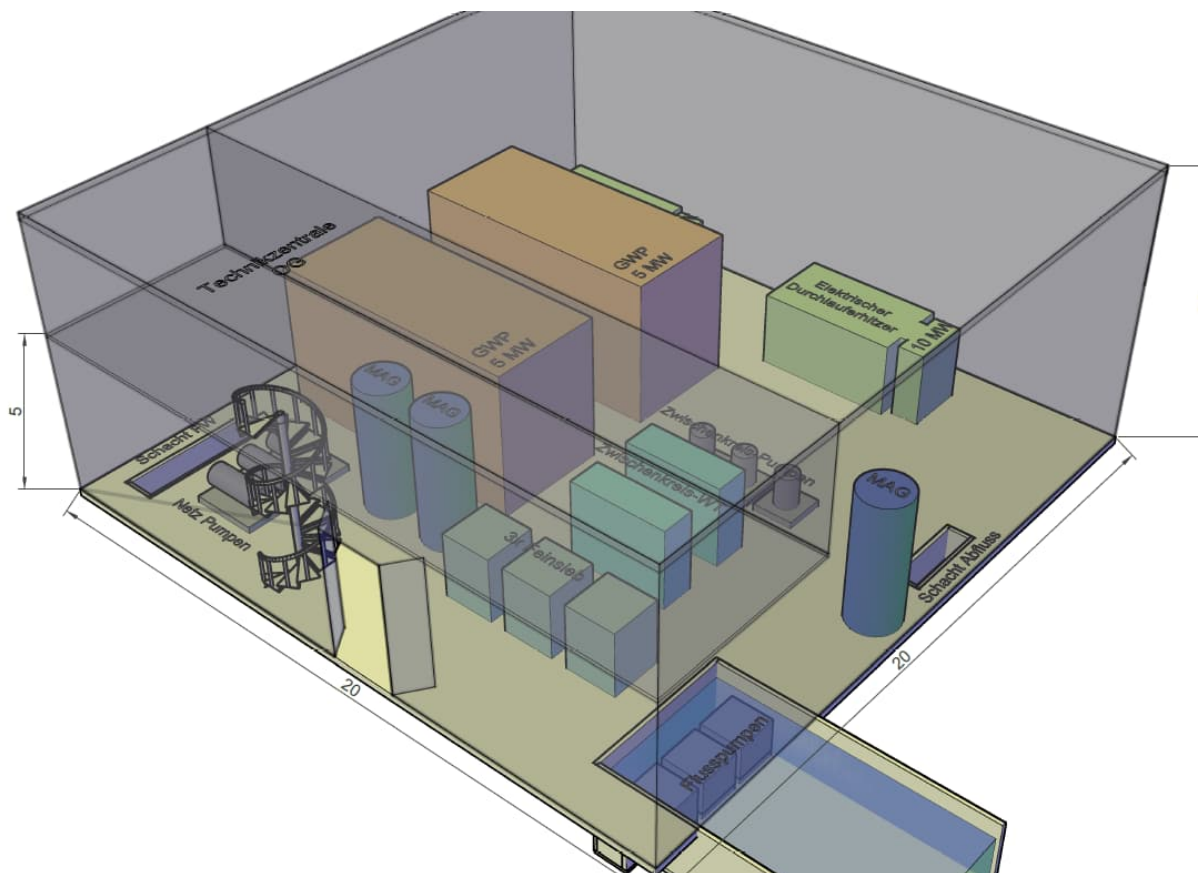
### 6.1 Ermittlung Flächenbedarf

Nachfolgende Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen eine Zusammenstellungszeichnung der Technikzentrale, welche auf den Ergebnissen in Kapitel 4.5 "Platzbedarf der Komponenten des Heizsystems" basiert und Freiflächen für Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten berücksichtigt.

Es ist nicht zwingend erforderlich die einzelnen Komponenten an den dargestellten Positionen zu verorten. Die Abbildungen verdeutlichen jedoch den grundsätzlich erforderlichen Flächen- und Raumbedarf einer Technikzentrale mit den dieser Potenzialanalyse zugrunde liegenden Auslegungsparametern.



**Abbildung 21:** Aufstellungsplan (beispielhaft) zur Ermittlung des Flächenbedarfs der Technikzentralen



**Abbildung 22:** Isometrische 3D-Ansicht des beispielhaften Aufstellungsplans für die Technikzentralen.

Aus dem beispielhaften Aufstellungsplan für eine 8 - 10 MW Anlage wurde ein Flächenbedarf von rund 400 m<sup>2</sup> ermittelt.

## 6.2 Vorauswahl von Standorten für die Wärmezentrale

Die nachfolgende Bewertung beruht auf einem Pre-Screening und vorläufigen Beurteilung der zum Zeitpunkt der Untersuchung verfügbaren Daten und Quellen. Somit kann nur eine grobe theoretische Grundlage geschaffen und keine endgültige Standortauswahl getroffen werden. Die nachfolgenden Untersuchungen sollen daher als Hilfestellung für die prinzipielle Eignung eines Standorts für eine Wärmenetzverteilungsanlage dienen.

In der weiteren Planung muss dann eine echte Standortauswahl (*Site Selection Study*) erfolgen, um die in der Planung des jeweiligen Standorts notwendigen Parameter zu evaluieren.

In der Abbildung 23 ist die Vorauswahl für alle untersuchten Stadtgebiete dargestellt. Im Anlage 2 können die Flächen zu den einzelnen Stadtgebieten eingesehen werden. Dabei sind die zu versorgenden Stadtgebiete gelb markiert und die Flächen für mögliche Standorte für eine 8 - 10 MW-Anlage rot markiert.





**Abbildung 23:** Übersicht der Vorauswahl möglicher Standorte für die Wärmezentrale



### **6.3 Bewertung der möglichen Standorte für eine Wärmezentrale**

Die Bewertung der möglichen Standorte erfolgte gem. folgender Kriterien:

#### **6.3.1 Standort(e) der Wärmezentrale (Entfernung zum Neckar max. 150 m)**

Der Standort der Wärmezentrale soll maximal 150 m vom Neckar entfernt stationiert werden, um dabei die anfallenden Kosten die bei der Verlegung neuer Leitungssysteme auftreten, so gering wie möglich zu halten.

#### **6.3.2 Stelle Wasserentnahme und Rückführung zum Neckars (visuelle Inspektion)**

Die Stelle der Wasserentnahme und die Stelle der Rückführung in den Neckar müssen frei von Bewuchs und anderen möglichen Hindernissen wie unterirdisch angelagertes Geröll oder ähnliches sein. Bei diesem Kriterium wurde darauf geachtet, ob es möglich ist zuvor genannte Dinge zu entfernen und ob am Ufer des Neckars allgemein Platz für Ein- und Auslaufbauwerke vorhanden ist.

#### **6.3.3 Tiefe des Neckar (visuelle Inspektion/Beurteilung Ortsbegehung)**

Hierbei wurde davon ausgegangen, dass an den untersuchten Streckenabschnitten des Neckars die Flusstiefe mehr als ca. 2,5 m beträgt. Es wurden keine Messungen vorgenommen.

#### **6.3.4 Hafenbereich / Wasserkraftwerke**

Hierbei handelt es sich um Bereiche des Neckars in der Nähe von Hafenbecken, Wasserkraftwerken und Schleusen, die für eine Wasserentnahme hinderlich sind und wo sich derartige Rahmenbedingungen nicht ändern lassen.

#### **6.3.5 Fließgeschwindigkeit bei der Ausleitung (visuelle Inspektion/Beurteilung)**

Die Beurteilung der Fließgeschwindigkeit wurde im Laufe der Untersuchung nur visuell vor Ort und über Lagepläne beurteilt. Dabei wurde darauf geachtet, ob sich der Neckar an den untersuchten Standorten z.B. an einer Schleuse befindet oder in einem Nebenzweig / Arm des Hauptflusses.

#### **6.3.6 Art des Eigentümers**

Die Art des Eigentümers der untersuchten Standorte wurde nur angenommen und muss bei einer genaueren Untersuchung verifiziert werden.

#### **6.3.7 Umweltrechtliche Bedingungen werden eingehalten (Kein FFH etc.)**

Bei der Standortauswahl wurde direkt zu Beginn der Untersuchung darauf geachtet, dass sich die Standorte nicht in möglichen Schutzgebieten befinden.

Zur Wasserrechtlichen Genehmigungssituation können jedoch keine Aussagen getroffen werden

### **6.4 Kriterien zur Errichtung eines neuen Wärmenetzes**

#### **6.4.1 Abnehmerdichte / Wärmeverbrauchsichte**

Die Abnehmerdichte wurde anhand der verfügbaren GIS-Daten ausgerechnet und in MWh/m<sup>2</sup>\*a angegeben. Ziel ist es, vorläufig abzuschätzen, wo möglichst hohe Abnehmerdichte vorhanden ist, damit ein möglichst kompaktes und ökonomisches Netz errichtet werden kann.

#### **6.4.2 Technische Umsetzbarkeit Netzbau**

Hierbei wurde bewertet, ob im ausgewählten Stadtgebiet die Umsetzung eines neuen Fernwärmenetzbau überhaupt umsetzbar ist bzw. ob dies besondere Erschwernisse zu erwarten sind. Dabei waren die vorhandene Straßenbreite, vorhandene Straßenverkehr, Einordnung des Wohngebiet / Industriegebiet,



die schon verlegten Medien im Straßenquerschnitt und die Verästelung des untersuchten Gebiets relevant.

#### 6.4.3 Anteil der Brennstoffe / Fossile Quellen (Kohle, Gas, Heizöl, Erdgas)

Der Anteil der Fossilen Quellen im untersuchten Stadtgebiet wurde mithilfe der vorhandenen GIS-Daten ausgerechnet und in % angegeben. Details und Ergebnisse hierzu sind in Kapitel 5.2 enthalten.

#### 6.4.4 Anteil Wohngebäude (Wohneigentümergeinschaft-WEG)

Der Anteil der Wohngebäude im untersuchten Stadtgebiet wurde mithilfe der vorhandenen GIS-Daten ausgerechnet und in Prozentsatz (%) angegeben. Ergebnisse sind im Anhang I dargestellt.

#### 6.4.5 Eignung LW-WP (Luft-Wasser Wärme Pumpe)

Dieses Kriterium beträgt die potenzielle künftige Wärmeverbraucher, die nicht für die Aufstellung einer Luft-Wasser Wärme Pumpe geeignet sind. Je höher der Prozentsatz ist, desto passender/angemessener für die Versorgung durch einen neuen FW-Anschluss geeignet ist.

#### 6.4.6 Leitungslänge zwischen Wärmezentral bis Quartier/tatsächliche Versorgungsgebiet

Hier wurde die Leitungslänge zwischen der Wärmezentrale und dem untersuchten Stadtgebiet grob aus Lageplänen herausgemessen.

#### 6.4.7 Verfügbare Straßen / Wege für die Verlegung der gepl. Leitung

Hierbei wurde bewertet, ob die vorhandenen Wege und Straßen im untersuchten Stadtgebiet kompatibel mit einer Verlegung der geplanten Leitungsstränge sind.

**Tabelle 4:** Klassifizierung der Kriterien

Qualitativ	Quantitativ
Stelle Wasserentnahme und Rückführung zum Neckars (visuelle Inspektion)	Standort(e) der Wärmezentrale (Entfernung zum Neckar max. 150 m)
Hafenbereich / Wasserkraftwerke	Tiefe des Neckar
Fließgeschwindigkeit bei der Ausleitung	Abnehmerdichte / Wärmeverbrauchsichte
Art des Eigentümers	Anteil der Brennstoffe / Fossile Quellen
Umweltrechtliche Bedingungen	Anteil Privateigentümer WEG
technische Umsetzbarkeit Netzbau	
Eignung LW-WP (Luft-Wasser Wärme Pumpe)	
Leitungslänge zwischen Wärmezentral bis Quartier	
Verfügbare Straßen / Wege für der Verlegung der gepl. Leitung	

## 6.5 Festlegung der Bewertungskriterien

**Tabelle 5:** Festlegung der Bewertungskriterien

Nr.	Kriterien	Einheiten	Günstig			Ungünstig / ungeeignet
			sehr gut geeignet	geeignet	bedingt geeig- net	
			10	8	5	1
1	Standort(e) der Wärmezentrale (Entfernung zum Neckar max. 150 m)	[Anzahl]	>3	1 - 2	1	0
2	Stelle Wasserentnahme und Rückführung zum Neckars (visuelle In- spektion)	[-]	sehr gut geeignet	geeignet	bedingt geeignet	ungeeignet
3	Tiefe des Neckar (visuelle Inspektion/Beurteilung vor Ort)	[-]	> 3	3 - 2,5	2 - 1,5	< 1,5
4	Hafenbereich / Wasserkraftwerke	[-]	sehr gut geeignet	geeignet	bedingt geeignet	ungeeignet
5	Fließgeschwindigkeit bei der Ausleitung (visuelle Inspektion/Beurtei- lung)	[-]	sehr gut geeignet	geeignet	bedingt geeignet	ungeeignet
6	Art des Eigentümers	[-]	Öffentlich	Privat	unbekannt	K/I
7	Umweltrechtliche Bedingungen werden eingehalten (Kein FFH etc.)	[-]	sehr gut geeignet	geeignet	bedingt geeignet	ungeeignet
8	Abnehmerdichte / Wärmeverbrauchsdichte	[MWh/m <sup>2</sup> ·a]	> 100	100 - 70	70 - 50	< 50
9	technische Umsetzbarkeit Netzbau	[-]	sehr gut geeignet	geeignet	bedingt geeignet	ungeeignet
10	Anteil der Brennstoffe / Fossile Quellen (Kohle, Gas, Heizöl, Erdgas)	[%]	100	75 - 50	50 - 25	< 25
11	Anteil Wohngebäude (Wohneigentümergeinschaft-WEG)	[%]	100	75 - 50	50 - 25	< 25
12	Eignung LW-WP (Luft-Wasser Wärme Pumpe)	[-]	sehr gut geeignet	geeignet	bedingt geeignet	ungeeignet
13	Leitungslänge zwischen Wärmezentral bis Quartier	[m]	< 100	100 - 250	250 - 400	> 400
14	Verfügbare Straßen / Wege für der Verlegung der gepl. Leitung	[-]	sehr gut geeignet	geeignet	bedingt geeignet	ungeeignet

## 6.6 Bewertung der Standorte

Tabelle 6: Bewertung der Kriterien

Bewertungskriterien			Stadtteile									
Nr.	Kriterien	Einheiten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			Mühl- hausen	Hofen	Münster	Schmidener Vorstadt	Cannstatt Mitte	Berg	Unter- türkheim	Wangen	Ober- türkheim	Hedelfin- gen
1	Standort(e) der Wärmezentrale	[Anzahl]	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
2	Stelle Wasserentnahme und Rückführung zum Neckars (visuelle Inspektion)	[-]	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
3	Tiefe des Neckar	[-]	3-2,5	2	3-2,5	3-2,5	3-2,5	3-2,5	3-2,5	3-2,5	3-2,5	3-2,5
4	Hafenbereich / Wasserkraftwerke	[-]	ja	ja	Nein	Nein	ja	nein	ja	ja	ja	nein
5	Fließgeschwindigkeit bei der Ausleitung	[-]	bedingt geeignet	bedingt ge- eignet	geeignet	geeignet	bedingt ge- eignet	geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet	geeignet
6	Art des Eigentümers	[-]	Privat	Privat	Privat	Öffentlich und Privat	Öffentlich	Privat	Privat	Privat	Privat	Privat
7	Umweltrechtliche Bedingungen werden eingehalten	[-]	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
8	Abnehmerdichte / Wärmeverbrauchsdichte	[MWh/m <sup>2</sup> ·a]	116	149	91	113	333	169	130	187	81	69
9	technische Umsetzbarkeit Netzbau	[-]	ungeeig- net	bedingt ge- eignet	sehr geeig- net	sehr geeignet	ungeeignet	bedingt geeignet	ungeeig- net	geeignet	ungeeig- net	sehr geeig- net
10	Anteil der Brennstoffe / Fossile Quellen	[%]	85	86	94	96	96	91	77	94	88	90
11	Anteil Wohngebäude	[%]	55	70	56	34	22	19	44	60	49	64
12	Eignung LW-WP (Luft-Wasser Wärme Pumpe)	[-]	51	60	41	26	88	71	56	49	60	44
13	Leitungslänge zwischen Wärmezentral bis Quartier	[m]	400	50	250	200	50	150	400	70	1000	70
14	Verfügbare Straßen / Wege für der Verlegung der gepl. Leitung	[-]	geeignet	geeignet	sehr geeig- net	sehr geeignet	ungeeignet	geeignet	ungeeig- net	geeignet	ungeeig- net	geeignet

Tabelle 7: Bewertungsmatrix

Bewertungskriterien Festlegung			Stadtteile									
Nr.	Kriterien	Einheiten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			Mühl- hausen	Hofen	Münster	Schmidener Vorstadt	Cannstatt Mitte	Berg	Unter- türk- heim	Wangen	Ober- türkheim	Hedelfin- gen
1	Standort(e) der Wärmezentrale (Entfernung zum Neckar max. 150 m)	[Anzahl]	8	5	8	8	8	8	8	8	8	8
2	Stelle Wasserentnahme und Rückführung zum Neckars (visuelle Inspektion)	[-]	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
3	Tiefe des Neckar (visuelle Inspektion/Beurteilung vor Ort)	[-]	10	1	10	10	10	10	10	10	10	10
4	Hafenbereich / Wasserkraftwerke	[-]	1	1	10	10	1	10	1	1	1	10
5	Fließgeschwindigkeit bei der Ausleitung (visuelle Inspektion/Beurteilung)	[-]	5	5	8	8	5	8	5	5	5	8
6	Art des Eigentümers	[-]	8	8	8	1	10	8	8	8	8	8
7	Umweltrechtliche Bedingungen werden eingehalten (Kein FFH etc.)	[-]	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
8	Abnehmerdichte / Wärmeverbrauchsichte	[MWh/m <sup>2</sup> .a]	10	10	8	10	10	10	10	10	8	5
9	technische Umsetzbarkeit Netzbau	[-]	1	5	10	10	1	5	1	8	1	10
10	Anteil der Brennstoffe / Fossile Quellen (Kohle, Gas, Heizöl, Erdgas)	[%]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	Anteil Wohngebäude (Wohneigentümergeinschaft-WEG)	[%]	8	8	8	5	1	1	5	8	5	8
12	Eignung LW-WP (Luft-Wasser Wärme Pumpe)	[-]	8	8	5	5	10	8	8	5	8	5
13	Leitungslänge zwischen Wärmezentral bis Quartier	[m]	1	10	5	8	10	8	1	10	1	10
14	Verfügbare Straßen / Wege für der Verlegung der gepl. Leitung	[-]	8	8	10	10	1	8	1	8	1	8
Bewertung			94	95	116	111	93	110	84	107	82	116

Tabelle 8: Ergebnis gewichtete Bewertungsmatrix

Nr.	Kriterien	Gewichtung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			Mühlhausen	Hofen	Münster	Schmidener Vorstadt	Cannstatt Mitte	Berg	Untertürkheim	Wangen	Obertürkheim	Hedelfingen
1	Standort(e) der Wärmezentrale (Entfernung zum Neckar max. 150 m)	5%	0,4	0,25	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
2	Stelle Wasserentnahme und Rückführung zum Neckars (visuelle Inspektion)	5%	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
3	Tiefe des Neckar (visuelle Inspektion/Beurteilung vor Ort)	3%	0,3	0,03	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
4	Hafenbereich / Wasserkraftwerke	3%	0,03	0,03	0,3	0,3	0,03	0,3	0,03	0,03	0,03	0,3
5	Fließgeschwindigkeit bei der Ausleitung (visuelle Inspektion/Beurteilung)	3%	0,15	0,15	0,24	0,24	0,15	0,24	0,15	0,15	0,15	0,24
6	Art des Eigentümers	4%	0,32	0,32	0,32	0,04	0,4	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
7	Umweltrechtliche Bedingungen werden eingehalten (Kein FFH etc.)	7%	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
8	Abnehmerdichte / Wärmeverbrauchsichte	13%	1,3	1,3	1,04	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,04	0,65
9	technische Umsetzbarkeit Netzbau	14%	0,14	0,7	1,4	1,4	0,14	0,7	0,14	1,12	0,14	1,4
10	Anteil der Brennstoffe / Fossile Quellen (Kohle, Gas, Heizöl, Erdgas)	6%	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
11	Anteil Wohngebäude (Wohneigentümergeinschaft-WEG)	6%	0,48	0,48	0,48	0,3	0,06	0,06	0,3	0,48	0,3	0,48
12	Eignung LW-WP (Luft-Wasser Wärme Pumpe)	17%	1,36	1,36	0,85	0,85	1,7	1,36	1,36	0,85	1,36	0,85
13	Leitungslänge zwischen Wärmezentral bis Quartier	8%	0,08	0,8	0,4	0,64	0,8	0,64	0,08	0,8	0,08	0,8
14	Verfügbare Straßen / Wege für der Verlegung der gepl. Leitung	6%	0,48	0,48	0,6	0,6	0,06	0,48	0,06	0,48	0,06	0,48
<b>Bewertung</b>		<b>100%</b>	<b>6,6</b>	<b>7,46</b>	<b>7,89</b>	<b>7,93</b>	<b>6,9</b>	<b>7,66</b>	<b>6</b>	<b>7,79</b>	<b>5,74</b>	<b>7,78</b>
<b>Ranking</b>			<b>8</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>4</b>

## 6.7 Ergebnisse der Standortanalyse

Nach Auswertung der Bewertungskriterien scheinen die Bedingungen für folgende Standorte im Vergleich am geeignetsten zu sein.

- Münster
- Schmidener Vorstadt
- Wangen
- Hedelfingen

In den weitergehenden Planungsphasen muss nach Festlegung der technischen Anlagen-Parameter eine eingehende Standortanalyse erfolgen.

## 7 NETZBETRACHTUNG FÜR GEEIGNETE TEILGEBIETE

Entsprechend der zuvor ausgeführten Annahmen zur Auslegung der Wärmestation und aus Gründen der Vergleichbarkeit der ausgewählten Standorte wurde die Auslegung des neuen Wärmenetzes auf 9 MW begrenzt. Dies ermöglicht eine direkte Vergleichbarkeit der Standorte untereinander. Zudem scheint die technische Implementierung hinsichtlich der Parameter für Wärmezentrale und Fernwärmenetz realistisch.

In den weitergehenden Planungsphasen muss dann eine Dimensionierung der Wärmezentrale und des Netzes erfolgen. Hierbei kann in Abhängigkeit vom Wärmebedarf des jeweiligen Stadtteils und den Ergebnissen der Standortuntersuchung ggf. Auch ein größeres Gebiet versorgt werden.

In den nachfolgenden Tabellen und Abbildungen können die Ergebnisse entnommen werden:

**Tabelle 9:** Heizleistung und angeschlossene Gebäude je ausgewählter Stadtteil

Stadtteile	Wärmebedarf [MWh/a]	Heizleistung [kW]	Hausanschlüsse
Münster	17.300	7,91	1.874
Schmidener Vorstadt	17.600	8,03	1.104
Wangen	18.300	8,35	1.495
Hedelfingen	19.600	8,94	2.028

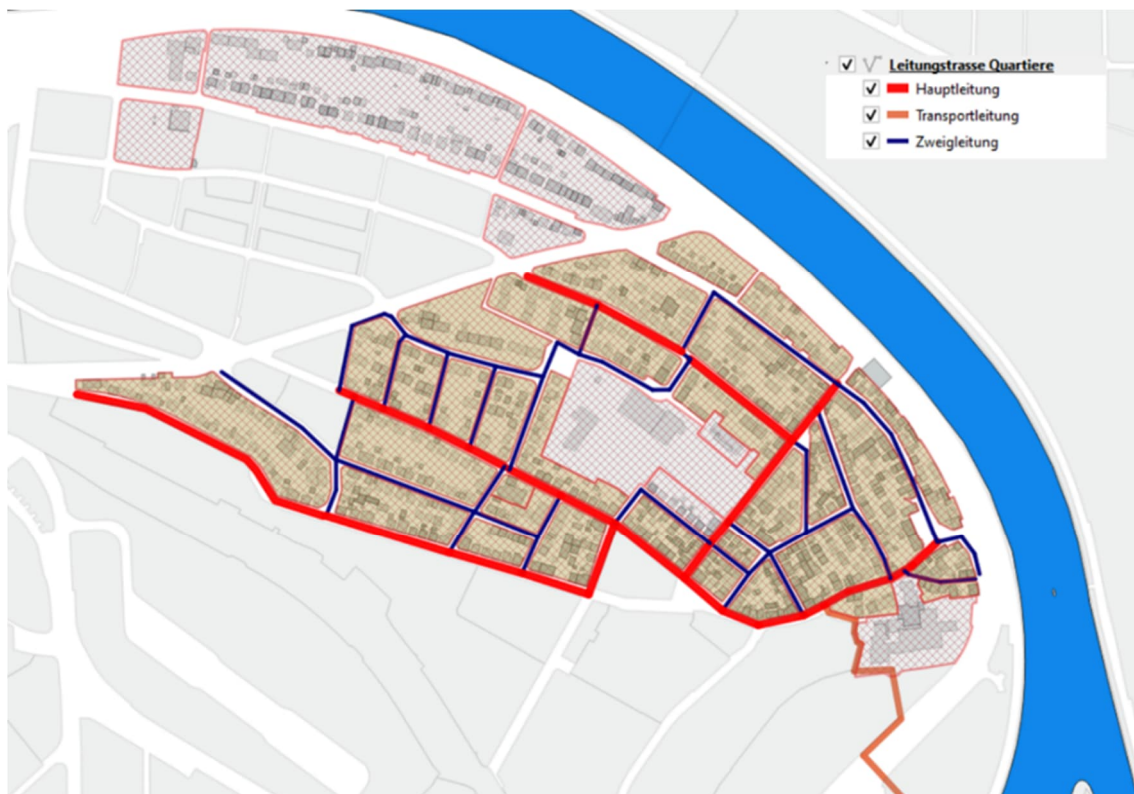
### 7.1 Verortung geplante Netzverlegung

Es wurde versucht, die Bilanzhülle so zu legen, dass ein möglichst großer und zusammenhängender Teilbereich abgedeckt wird. Zudem soll das Netz möglichst viele bislang konventionell/fossil versorgte Verbraucher versorgen und kompakt sein, um die Investitionskosten zu begrenzen.

In den nachfolgenden Tabellen und Abbildungen können die Ergebnisse entnommen werden:

**Tabelle 10:** Eckdaten Fernwärmenetz

Stadtteile	Trassen / Leitungen				Hausanschlüsse
	DN 40	DN 200	DN 400	gesamte Länge des Netzes	
Münster	18.740	3.199	2.458	24.397	1.874
Schmidener Vorstadt	11.040	2.285	1.613	14.938	1.104
Wangen	14.950	1.417	1.934	18.301	1.495
Hedelfingen	20.280	1.862	2.402	24.544	2.208

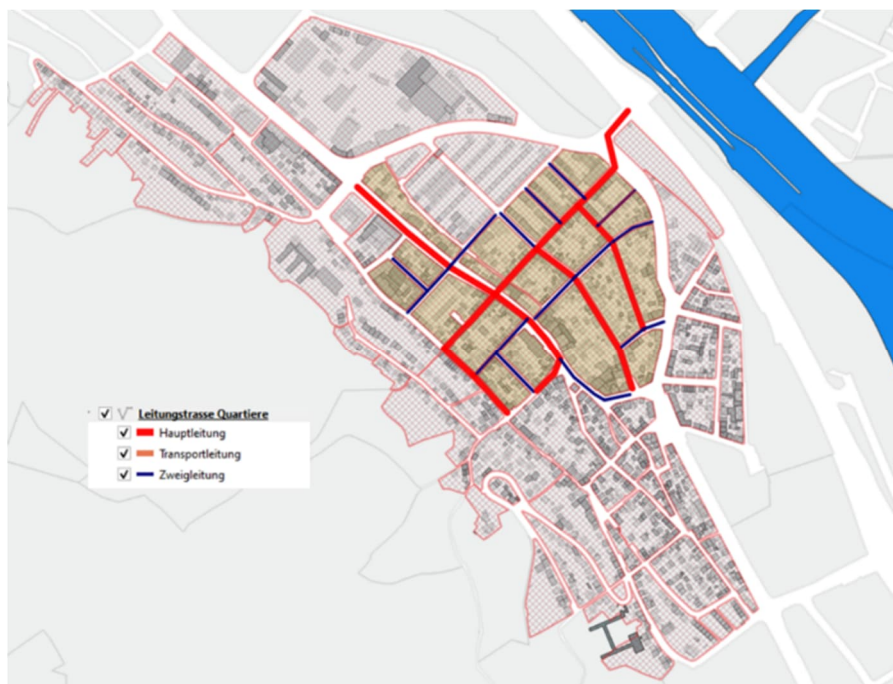


**Abbildung 24:** Konzeptioneller Ansatz Fernwärmenetz Stadtteil Münster

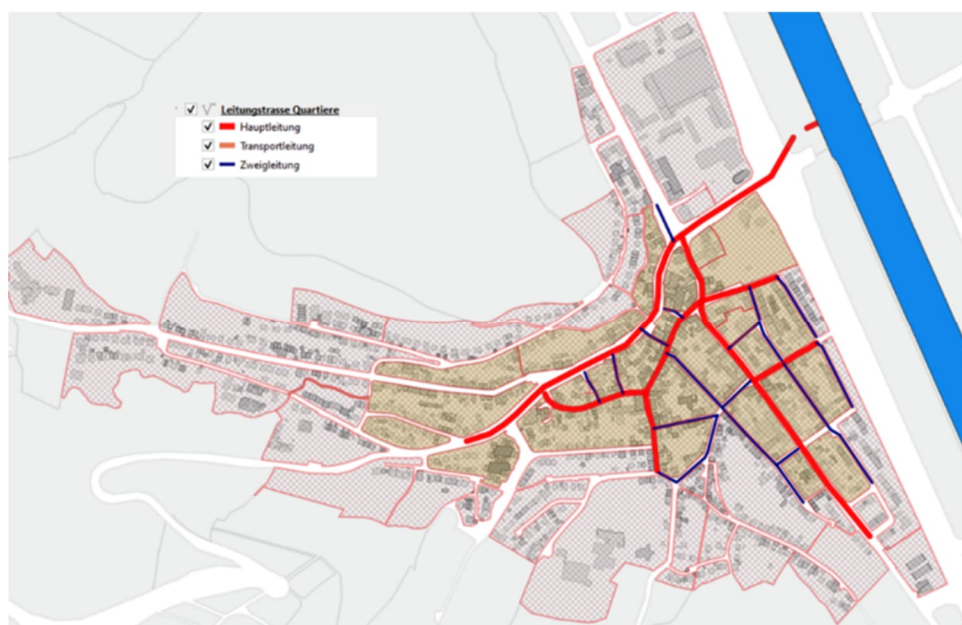


**Abbildung 25:** Konzeptioneller Ansatz Fernwärmenetz Stadtteil Schmidener Vorstadt





**Abbildung 26:** Konzeptioneller Ansatz Fernwärmenetz Stadtteil Wangen



**Abbildung 27:** Konzeptioneller Ansatz Fernwärmenetz Stadtteil Hedelfingen

## 7.2 Wärmeversorgung ausgewählte Teilgebiete

Die Wärmeversorgung der einzelnen Teilgebiete erfolgt entsprechend den Ausführungen in Kapitel 4.1.1 bivalent mit einer Großwärmepumpe und einem elektrischen Durchlauferhitzer als Wärmeerzeuger.

Der elektrische Durchlauferhitzer wird eingesetzt zu Zeiten:

- in der die untere Grenztemperatur des Neckarwassers von **+5 °C** bzw.
- in der der minimale Abfluss von **11,5 m³/s** (5. Perzentil)

unterschritten wird. In diesen Zeiten findet kein Wärmepumpenbetrieb statt. Außerhalb dieser Zeiten (oberhalb des auf diese Art definierten Bivalenzpunktes) wird ausschließlich die Wärmepumpe betrieben.

Zur Ermittlung der Betriebskosten der bivalenten Wärmeherzeugung ist es notwendig zu bestimmen, welche **Volllaststunden** dem jeweiligen Wärmeherzeuger zugeordnet werden kann.

Hierfür wird ausgehend von:

- den Gewässertemperaturen der Realvariante
- den tatsächlichen Außenlufttemperaturen für die Jahre 2011 – 2020 und
- der vorgenannten Lastkurve

die individuelle Heizlastkurve für jedes Teilgebiet berechnet. Die individuellen Heizleistungen sind Tabelle 9 entnommen.

Volllaststunden bezeichnet jene Zeit, in welcher die Großwärmepumpenanlage bzw. der elektrische Durchlauferhitzer bei der maximal benötigten Heizleistung betrieben werden müsste, um die gleiche Arbeit umzusetzen, welche innerhalb eines Jahres unter Berücksichtigung von Betriebspausen und Teillastbetrieb resultiert.

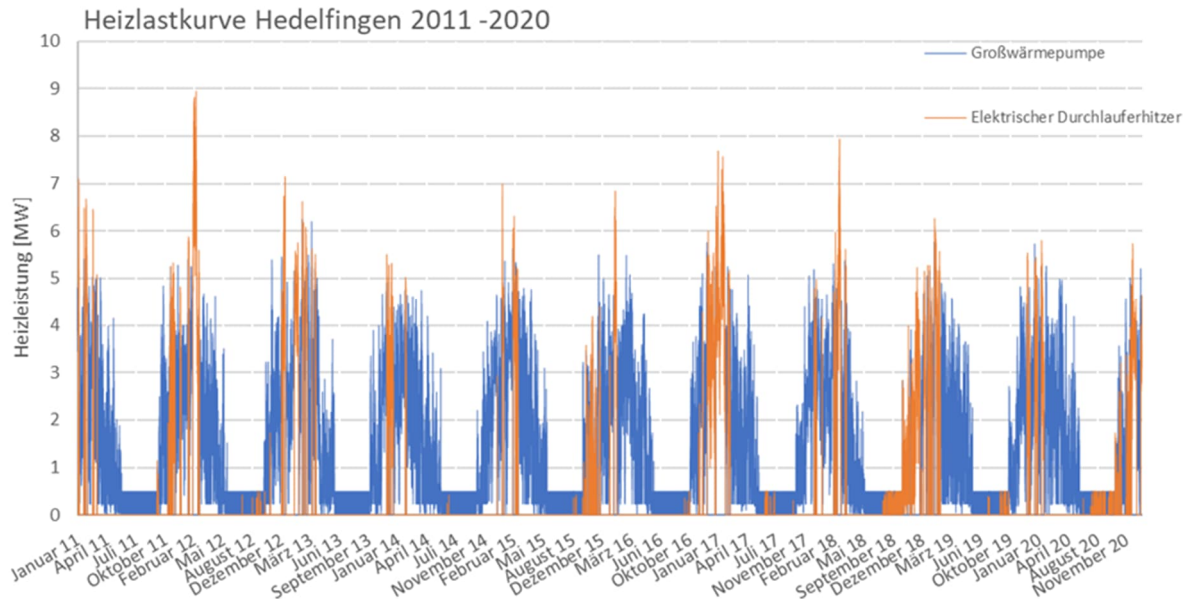
Um bei der Betrachtung der einzelnen Teilgebiete äußere Einflüsse auf den Neckar (wie z.B. anthropogener Wärmeeintrag, Wetterbedingungen etc.) berücksichtigen zu können, wird anhand Abbildung 2 (Verortung Ausgabepunkte) und ausgehend von Abbildung 23 (Verortung Technikzentralen) jedem Teilgebiet der nächstliegende Ausgabepunkt der Real-Variante zu geordnet. Die den Teilgebieten zugeordneten Ausgabepunkte sind in nachfolgender Tabelle 11 aufgeführt.

**Tabelle 11:** Zuordnung Ausgabepunkte Realvariante zu Teilgebieten

Teilgebiet	Ausgabepunkt für Berechnung Heizleistung
Münster	5169
Schmidener Vorstadt	5158
Wangen	5.091
Hedelfingen	5078

Bei der Berechnung der Heizleistung ist eine Abkühlung des Neckars aufgrund des Wärmeentzugs durch die im Rahmen dieser Potentialanalyse betrachteten Großwärmepumpen berücksichtigt.

In nachfolgender Abbildung 28 ist die auf diese Art ermittelte Heizlastkurve beispielhaft für das Teilgebiet Hedelfingen dargestellt.



**Abbildung 28:** Heizlastkurve (stündliche Mittelwerte) für Hedelfingen für die Jahre 2011 - 2020.

Es ist festzustellen, dass die durch eine Großwärmepumpe bereitstellbare Heizleistung bei maximal rd. 6,3 MW aufgrund der Abschaltkriterien „Grenztemperatur Neckarwasser“ und „minimaler Abfluss“, d.h. bei rd. 70 % der maximal benötigten Heizleistung liegt. Für die übrigen Teilgebiete zeigt sich ein ähnliches Verhalten. Daraus folgt, dass bei einer Auslegung der GWP auf nur 70 % der maximalen Heizleistung, die in Kapitel 5.3 definierten Volllaststunden (100 % Heizleistung) linear zunehmen, weil die GWP-Lösung unter Berücksichtigung von Betriebspausen und Teillastbetrieb länger betrieben werden kann um die gleiche Arbeit umzusetzen.

Ausgehend von den Daten, welche den Heizlastkurven zugrunde liegen, erfolgt eine Berechnung der anteiligen Volllaststunden für die Großwärmepumpe und den elektrischen Durchlauferhitzer. Nachfolgende Tabelle zeigt die anteiligen Volllaststunden der Wärmeerzeuger für die jeweiligen Teilgebiete:

**Tabelle 12:** Anteilige Volllaststunden und Definition Heizleistungen für alle ausgewählten Teilgebiete.

Teilgebiet	Anteil GWP Wärme- menge	Volllaststd. GWP	Heizleis- tung GWP	Anteil Wärmemenge Back-Up	Volllaststd. Back-up- Kessel	Heizleis- tung Back-up- Kessel
	[%]	[h]	[MW]	[%]	[h]	[MW]
Münster	74	2.313	5,54	26	568	7,91
Schmid. Vorstadt	71,5	2.239	5,62	29	625	8,03
Wangen	71,8	2.249	5,85	28	617	8,35
Hedelfingen	72,3	2.264	6,26	28	607	8,94

Es kann abschließend festgehalten werden, dass die Dimensionierung der Großwärmepumpe auf rd. 70 % der maximal benötigten Heizleistung beschränkt werden kann. Diese Dimensionierung ist Grundlage aller Kapitel dieser Potenzialanalyse.

## 8 KOSTENSCHÄTZUNG FÜR AUSGEWÄHLTE TEILGEBIETE

Die Kostenschätzung berücksichtigt die Investitions- und Betriebskosten der einzelnen Heizsysteme der ausgewählten Teilgebiete bestehend aus:

- dem Wärmenetz zur Verteilung der Wärme an die angeschlossenen Verbraucher
- der Technikzentrale mit der Wärmepumpenanlage und zugehörigen Anlagenkomponenten
- dem Ein- und Auslaufbauwerk zur Entnahme und Rückführung des Neckarwassers

Nicht berücksichtigt sind:

- eventuelle Kosten für besondere schalltechnische Maßnahmen
- Bauherrenleistungen
- eventuelle EVU-Sperren des Wärmestroms
- eventuelle Förderungsmöglichkeiten (z.B. BEW)

Die Kosten wurden unter Berücksichtigung der uns vorliegenden Preise für vergleichbare Anlagen berechnet ( $\pm 20\%$ ).

Alle Angaben zu Kosten im gegenständlichen Dokument verstehen sich ohne MwSt. Die Stromkosten wurden von den Stadtwerke Stuttgart zur Verfügung gestellt und stellen die Kosten für das Jahr 2023 dar.

Eine tabellarische Ergebnisübersicht der Kostenschätzung ist Anlage 05 zu entnehmen. Eine Übersicht über die Betriebskosten, aufgeteilt auf die untersuchten Teilgebiete, befindet sich in Anlage 03.

Der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung liegen die nachfolgenden Preise und Parameter zu Grunde (alle Preise ohne MwSt.):

• Strompreis Netto	0,235 €/kWh
• Strompreis ohne Umlagen	0,223 €/kWh
• Kalkulatorischer Zinssatz	5 %
• Abschreibungsdauer GWP	15 Jahre
• Abschreibungsdauer Hochbau	40 Jahre
• Abschreibungsdauer Rest	20 Jahre
• COP	3,5
• Aufteilung bivalente Wärmeerzeugung	gemäß <b>Tabelle 12</b>
• Wärmemenge Teilgebiete	gemäß <b>Tabelle 9</b>
• Baukostenzuschuss Stromnetz-Anschluss	80 €/kW

Gemäß §22 Energiefinanzierungsgesetz (EnFG) entfallen die Umlagen für eine elektrisch betriebene Wärmepumpe, sofern diese über einen separaten Zählpunkt mit dem Stromnetz verbunden ist. Für die Berechnung der Betriebskosten der GWP wird der Strompreis ohne Umlagen verwendet.

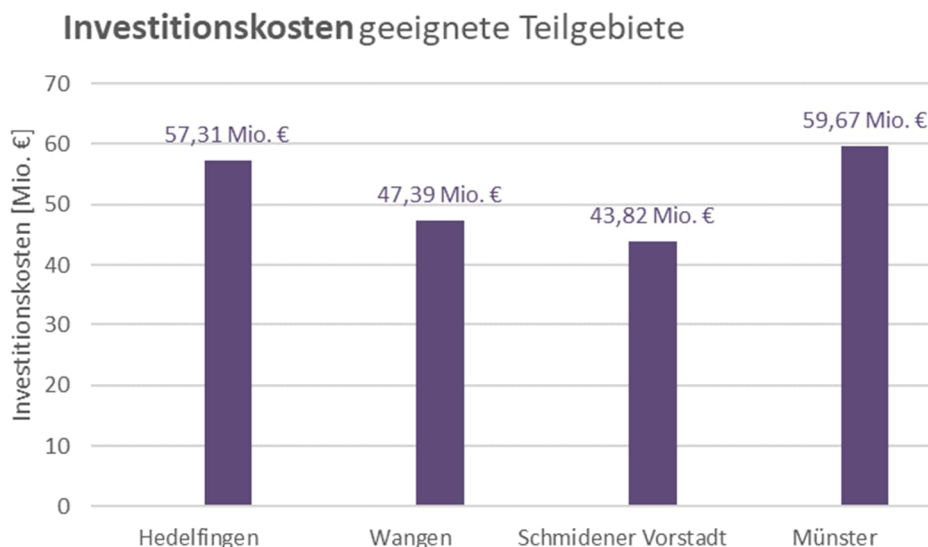
Zum jetzigen Zeitpunkt und unter Berücksichtigung des Planungsstandes sollte für unvorhergesehenes eine Reserve von ca. 20 % vorgesehen werden. Hinzu kommen Baunebenkosten für Planung, Beratung und Gutachten von ca. 18 %.

### 8.1 Investitionskostenschätzung

Den Investitionskosten für Technikzentrale, Ein- und Auslaufbauwerk liegt eine Heizleistung von 8 bis 10 MW als Grundlage zu Grunde. Aufgrund der näherungsweise gleichen zu erzeugenden Heizleistung

aller ausgewählten Teilgebiete, ergeben sich für die Technikzentrale inkl. Anlagentechnik für jedes Teilgebiet die gleichen Investitionskosten.

Weil sich die ausgewählten Teilgebiete in den Netzlängen unterscheiden (siehe Tabelle 10), weisen die Teilgebiete unterschiedliche Tiefbaukosten für die Wärmeverteilung auf.



**Abbildung 29:** Darstellung der geschätzten Investitionskosten für die ausgewählten Teilgebiete.

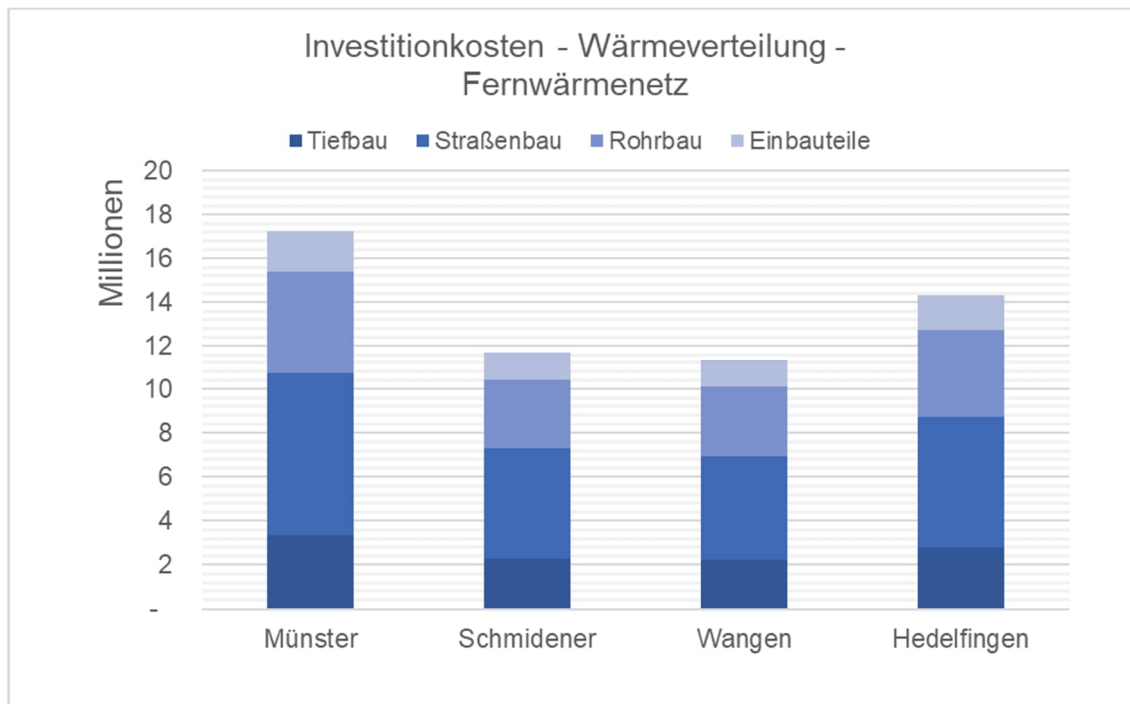
#### 8.1.1 Investition Wärmeverteilung

Die folgenden Kosten weisen die Investition bzgl. die Wärmeverteilung auf. Dafür wurden Tiefbau, Straßenbau, Rohrbau und Einbauteile als Variablen für die Kostenschätzung betrachtet. Allerdings sind keine Umverlegungskosten zur Trassenfreimachung berücksichtigt, da dies einer Analyse des Leitungsbestandes bedarf und in einer späteren Planungsphase untersucht werden muss.

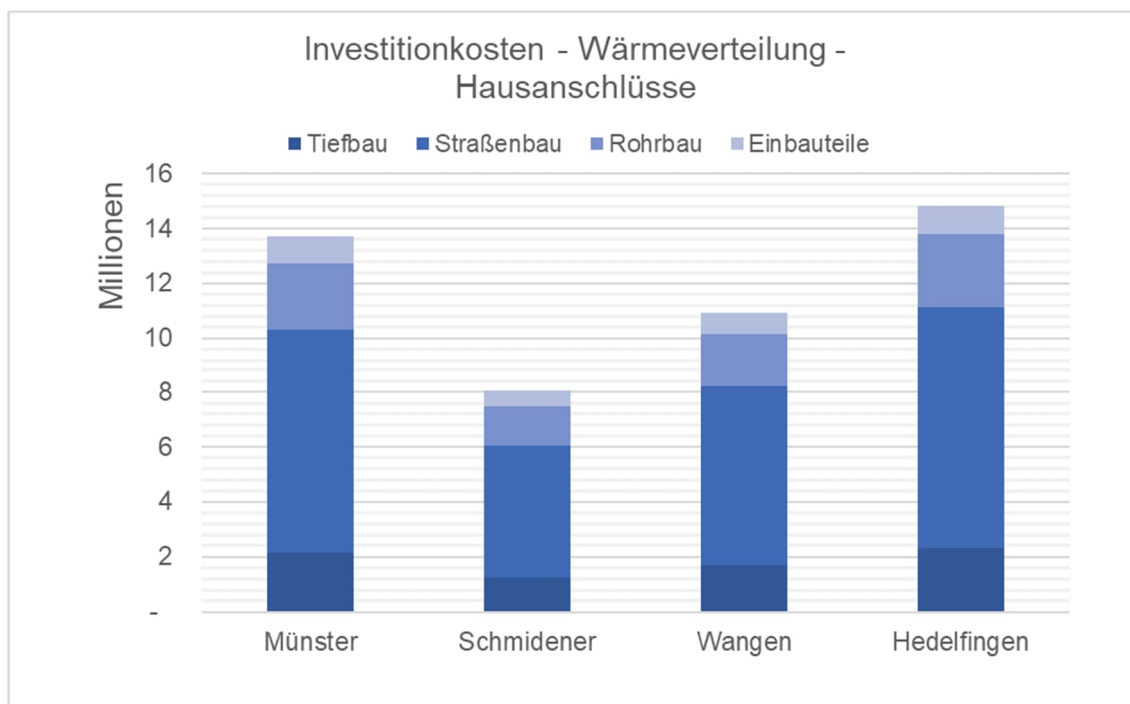
In den nachfolgenden Tabelle 13 und Abbildung 30 und Abbildung 31 sind die Ergebnisse dargestellt (Details siehe Anlage 3).

**Tabelle 13:** Investitionskosten für Wärmeverteilung

Gesamte Investitionskosten für Wärmeverteilung				
	Münster	Schmidener Vorstadt	Wangen	Hedelfingen
FW-Trasse	17.300.000	11.700.000	11.400.000	14.400.000
Hausanschlüsse	13.700.000	8.100.000	11.000.000	14.900.000
gesamte Inversion	31.000.000	19.800.000	22.400.000	29.300.000



**Abbildung 30:** Investitionskosten Fernwärmenetz



**Abbildung 31:** Investitionskosten Hausanschlüsse



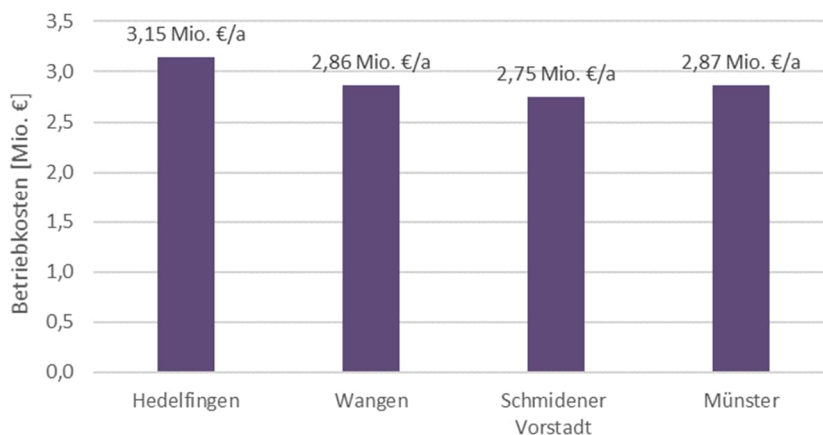
## 8.2 Betriebskostenschätzung

Der Betriebskostenschätzung liegen die in **Tabelle 12** definierten jeweiligen Volllaststunden und Heizleistungen zu Grunde. Ein Überblick der aufgeteilten Betriebskosten für die jeweiligen Teilgebiete ist Anlage 06 zu entnehmen. Nachfolgend werden:

- die gesamten jährlichen Betriebsmittel (inkl. Wärmeerzeugung, -verteilung, Flusswasserentnahme und Wartung)
- die Betriebskosten für Wärmeverteilung
- die Betriebskosten für Wärmeerzeugung aufgeteilt auf die Wärmeerzeuger (GWP und elektrischer Durchlauferhitzer)
- die Wärmeerzeugungskosten in €/MWh

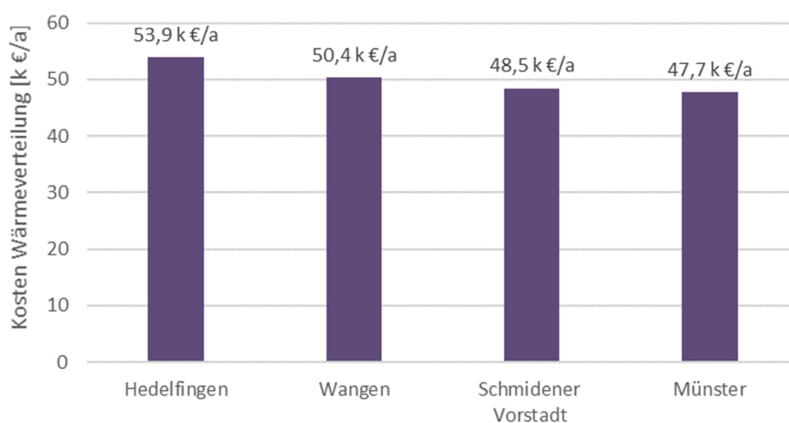
ausgewiesen.

**Jährliche Betriebsmittel geeignete Teilgebiete**



**Abbildung 32:** Darstellung der jährlichen Betriebsmittel für die ausgewählten Teilgebiete.

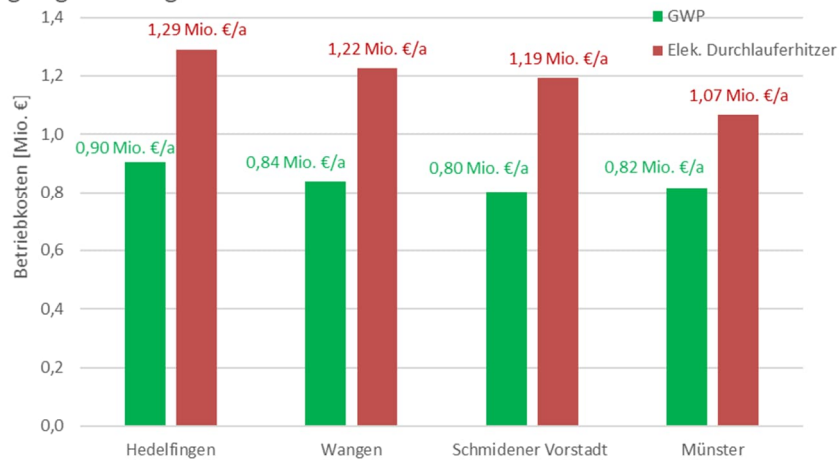
**Jährliche Betriebskosten Wärmeverteilung**



**Abbildung 33:** Darstellung der jährlichen Betriebskosten der Wärmeverteilung für die ausgewählten Teilgebiete.

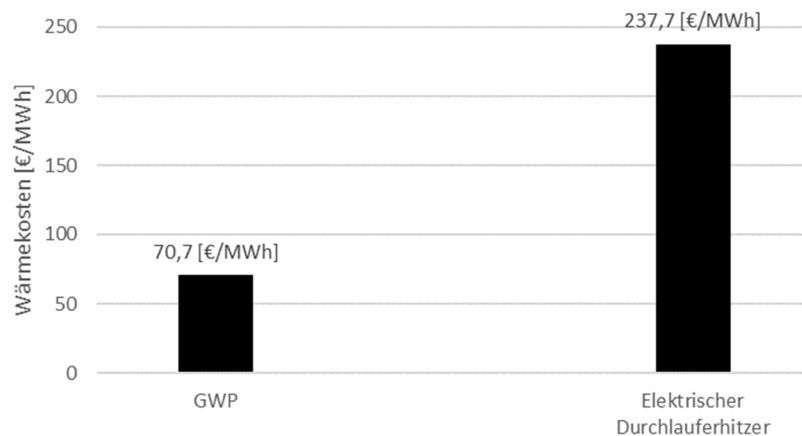


### Aufteilung jährliche Betriebskosten Wärmeerzeuger geeignete Teilgebiete



**Abbildung 34:** Darstellung der aufgeteilten jährlichen Betriebskosten für die Wärmeerzeugung.

### Wärmegestehungskosten pro MWh



**Abbildung 35:** Darstellung der mittleren Wärmegestehungskosten pro MWh für beide betrachteten Wärmeerzeuger.

## 9 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieser Potenzialanalyse wurde die Nutzung der Umweltwärme des Neckarwassers im Stadtgebiet Stuttgart untersucht. Die Temperatur des Neckarwassers wird über zentrale Großwärmepumpen auf ein nutzbares Temperaturniveau gehoben und über neu zu errichtende Niedertemperaturnetze zu den Verbrauchsstellen transportiert.

Das Niedertemperaturnetz zum Transport der Wärme von den zentralen Wärmepumpen zu den Verbrauchern ist für eine Vorlauftemperatur von 55 °C ausgelegt. Voraussetzung für die vergleichsweise niedrige Vorlauftemperatur ist eine energetische Sanierung der mit Wärme zu versorgenden Bestandsgebäude. Auf eine weitergehende Betrachtung von Wärmenetzen mit dezentralen Wärmepumpen wurde verzichtet, da im gegenständlichen Anwendungsfall hierfür keine geeigneten Bedingungen gegeben sind.

Grundlage der Untersuchung des Wärmepotenzials sind durch Fa. Hydron bereitgestellte Daten für die Temperatur und die Abflussmenge auf Basis der Realvariante der Simulation. Die Realvariante stellt den IST-Zustand dar und berücksichtigt meteorologische und anthropogene Einflüsse durch Wärmeeinleitung und -entzug auf das Neckarwasser.

Für die Bestimmung des Gesamtwärmepotenzials des Neckars im Raum Stuttgart wurde die Vorgabe der Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg berücksichtigt, entsprechend der sich die Gewässertemperatur bei Abkühlung um insgesamt maximal 2 K ändern darf. Für die weitergehende Bestimmung des technisch nutzbaren Wärmepotenzials wurden zusätzlich eine untere Grenztemperatur von +5 °C und ein minimaler Abfluss von 11,5 m³/s für das Neckarwasser berücksichtigt.

Die auf dieser Basis ermittelte technisch nutzbare Entzugsmenge an Umweltwärme beträgt Wärmeerzeugung sind elektrische Durchlauferhitzer vorgesehen.

### **Auswahl der Gebiete/Stadtteile**

Anhand der Auswertung der GIS Daten zur Wärmeversorgung sowie der Bewertung des Pre-Screenings möglicher Standorte für die Wärmeversorgungsanlagen, wurden zahlreiche Auswahlkriterien für den Standort und Versorgungsnetze ausgewertet und anhand einer Bewertungsmatrix verglichen. Hierbei konnten die folgenden Stadtteile am besten abschneiden: Münster, Schmidener Vorstadt, Wangen und Hedelfingen. Anschließend wurde für diese Stadtteile die technische Umsetzbarkeit für ein neues Fernwärmenetz geprüft. Aus Gründen der Vergleichbarkeit und technischen Umsetzbarkeit wurde hier ein Teilgebiet von rund 9 MW gewählt. Es wurde versucht, die Bilanzhülle so zu legen, dass ein möglichst großer und zusammenhängender Teilbereich abgedeckt wird. Zudem soll das Netz möglichst viele bislang konventionell/fossil versorgte Verbraucher versorgen und kompakt sein, um die Investitionskosten zu begrenzen.

### **Investitionskosten**

Basierend auf aktuellen Preisen wurde für die ausgewählten Versorgungsgebiete die Investitionskosten für eine 8 -10 MW Anlage geschätzt. Bei den Investitionskosten wurden Maßnahmen zur:

- Flusswärmeentnahme (Tiefbau und Anlagentechnik zur Flusswasseraufbereitung)
- Wärmeerzeugung (GWP und Back-Up-Kessel)
- Wärmeverteilung (Tiefbau Rohrleitungsgraben und Rohrleitungsnetz)

berücksichtigt.

Für die Technikzentrale mit der erforderlichen Anlagentechnik werden rund 13.6 Million Euro veranschlagt. Die Investitionskosten für die Wärmeverteilung für Netzleitungen für 8 - 10 MW schwanken je Stadtteil zwischen ca. 20 Millionen und ca. 31 Millionen Euro, aufgrund unterschiedlicher Netzcharakteristika.

### Betriebskosten

Die Betriebskosten für jedes Teilgebiet wurden auf Basis der zur Verfügung gestellten Heizlastkurve des Test-Referenz-Jahres bestimmt. Hierfür wurden die Volllaststunden der Wärmeerzeuger aufgeteilt auf die entsprechenden Volllaststunden für die Großwärmepumpe und die Volllaststunden für den elektrischen Durchlauferhitzer. Bei der Ermittlung der Volllaststunden ist berücksichtigt, dass die durch die Großwärmepumpe bereitstellbare Heizleistung aufgrund der Abschaltkriterien „Grenztemperatur Neckarwasser“ und „minimaler Abfluss“ bei rd. 70 % der maximal benötigten Heizleistung liegt. Dieser Faktor ist Grundlage der Dimensionierung der Großwärmepumpen zur Wärmeversorgung der einzelnen Teilgebiete.

Für die Berechnung der Betriebskosten wurde für jedes geeignete Teilgebiet die netzspezifischen Kenndaten (jährliche Wärmemenge und Heizleistung) verwendet.

Je nach Teilgebiet betragen die jährlichen Betriebskosten zwischen rund 2,8 und 3,2 Millionen Euro.

### Ausblick

In den weiteren Planungsphasen muss eine eingehende Machbarkeitsstudie für den oder die Standorte, die entwickelt werden sollen, erstellt werden. Hierbei müssen folgende Aspekte untersucht werden:

- Verortung der Wärmezentrale: Hierbei sollte der Standort hinsichtlich Eignung für die Errichtung der Anlage geprüft werden. Dazu sind u.a. folgende Aspekte zu berücksichtigen:
  - Flächenverfügbarkeit (Größe, Eigentüme, Zugang zum Wasser....)
  - Technische Rahmenbedingung zur Errichtung eines Einlaufbauwerks und des Auslaufbauwerks
- Präzisierung des Anlagenkonzeptes: Definieren der verfahrenstechnischen Anlagenkomponenten sowie eine detailliertere Auslegung bzw. Dimensionierung
- Genehmigungsrelevante Rahmenbedingungen
- Konzeption eines neuen Fernwärmenetzes unter Beachtung der lokalen Gegebenheiten (Bestandsinfrastruktur im Straßenkörper, Abschätzung von Umverlegungskosten zur Trassenfreimachung)

## **ANLAGEN**

Nr.	Beschreibung
1	Räumliche Analyse
2	Bilder Standorte
3	Betriebskostenschätzung
4	Investitionskostenschätzung
5	Ergebnisübersicht

