

BERICHT ABWASSERWÄRMENUTZUNG AUS DEM AUSLAUF VON KLÄRANLAGEN

LOKALISIERUNG VON STANDORTEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Vorwort

Der DWA-Landesverband Baden-Württemberg hat mit den Projektpartnern ifeu (Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg) und IBS Ingenieurgesellschaft das Projekt **Lokalisierung von Standorten für den Einsatz von Abwasserwärmenutzung aus dem Auslauf von Kläranlagen in Baden-Württemberg** mit Unterstützung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg durchgeführt.

Theoretisch ist durch die Wärmenutzung aus Abwasser mithilfe von effizienter Wärmepumpentechnologie und Wärmenetzen eine umweltfreundliche Beheizung von fünf bis zehn Prozent aller Gebäude in Baden-Württemberg möglich. Dieses Projekt zielte darauf ab, Wärmepotenziale und -senken zu identifizieren sowie Kommunen bei der Planung und perspektivisch dem Bau von entsprechenden Anlagen zu unterstützen. Dazu wurden unter anderem einige geeignete Standorte gesucht und deren Betreiber und Kommunen zu einem Projektinitiiierungsgespräch eingeladen.

Die Projektergebnisse sind im vorliegenden Bericht nachzulesen und können auch genutzt werden, um die Potenziale der Abwasserwärmenutzung von Kläranlagen im gesamten Land zu bewerten. Damit liefert das Projekt wichtige Erkenntnisse, die die großen Kreisstädte und Stadtkreise bei der Erstellung ihrer kommunalen Wärmeplanung bis zum Ende des Jahres 2023 nutzen können. Um die Anbahnung lokaler Projekte zur Abwasserwärmenutzung für Kommunen und Stadtwerke zu erleichtern, werden im Anhang zudem verschiedene Handreichungen zur Verfügung gestellt.

In diesem Bericht werden, soweit wie möglich, geschlechtsneutrale Bezeichnungen für personenbezogene Berufs- und Funktionsbezeichnungen verwendet. Ist dies aus Gründen der Lesbarkeit oder Verständlichkeit nicht möglich, wird nur eine Form verwendet. Alle Informationen beziehen sich aber in gleicher Weise auf Angehörige aller Geschlechter.

Impressum

Herausgeber:	DWA-Landesverband Baden-Württemberg Rennstraße 8 70499 Stuttgart Telefon: 0711 896631-0 Telefax: 0711 896631-111 E-Mail: info@dwa-bw.de Internet: www.dwa-bw.de
Verantwortlich im Sinne des Presserechts:	Dr.-Ing. Tobias Reinhardt DWA-Landesverband Baden-Württemberg
Autorinnen und Autoren:	Kathrin Münch (DWA-BW) Sebastian Blömer, Laura Lütkes, Dr.-Ing. Martin Peht (ifeu) Benjamin Schoor, Claus Schmidt, Wolfgang Schuler (IBS)
Redaktion:	Dr.-Ing. Tobias Reinhardt, Christina Cott, Julia Keller (DWA-BW)
Gestaltung der Titelseite:	Schröter Werbeagentur GmbH Nachbarsweg 25 45481 Mülheim an der Ruhr
Mit finanzieller Unterstützung durch:	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

© DWA-Landesverband Baden-Württemberg, Stuttgart, 2022

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	1
1.1	Hintergrund und Ziele der Studie.....	1
1.2	Abwasser als Wärmequelle	2
1.3	Bestehende Projekte zur Abwasserwärmenutzung in Baden-Württemberg	6
2	Standortscharfe Potenzialanalyse	9
2.1	Methodik.....	9
2.1.1	Angebotspotenzial.....	9
2.1.2	Nachfragepotenzial	11
2.1.3	Quellen- / Senkenabgleich.....	14
2.1.4	Priorisierung von Standorten für die Projektinitiierung	17
2.2	Ergebnisse	22
2.2.1	Bewertung der landesweiten Nutzungspotenziale	22
2.2.2	Auswahl Standorte zur Projektinitiierung.....	23
3	Technisch-ökonomische Betrachtung	26
3.1	Grundlagen.....	26
3.1.1	Funktionsprinzip Wärmepumpe.....	26
3.1.2	Wärmequellen, Antriebsenergie und Wärmeverbraucher.....	28
3.1.3	Wärmequelle Abwasser	29
3.1.4	Kennzahlen, Effizienz und Heizleistung	31
3.1.5	Steigerung der Effizienz durch mehrstufige Anlagen	33
3.2	Untersuchung von drei beispielhaften Kläranlagenkonzepten und deren techno-ökonomische Betrachtung.....	34
3.2.1	Tübingen.....	35
3.2.2	Weinstadt.....	42
3.2.3	Altensteig	47
3.3	Ergebnisse: Allgemeingültige Schlüsse aus der Betrachtung der drei Kläranlagenkonzepte.....	50
4	Projektinitiierung an den ausgewählten Standorten	52
4.1	Ablauf der Projektinitiierungsgespräche.....	52
4.2	Wärmepotenzialermittlung für die einzelnen Standorte	53
4.3	Handreichungen für lokale Entscheidungsträger*innen.....	57
4.4	Erkenntnisse aus den Gesprächen	58
5	Fazit und Ausblick	60
6	Literaturverzeichnis	61
7	Anhänge	62
7.1	Anhang I: Steckbriefe von Musteranlagen	62
7.2	Anhang II: Checkliste für die Projektanbahnung	68

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitspakete.....	2
Abbildung 2: Mögliche Entnahmepunkte der Wärme aus dem Abwasser (Müller & Schmid, 2005).....	3
Abbildung 3: Aufbau einer Abwasserwärmenutzungsanlage (DWA-Merkblatt M114, 2020).....	4
Abbildung 4: Außerhalb des Kanals angeordneter Wärmeübertrager (geschlossenes System) zur Rückgewinnung von Wärme aus dem Abwasser. Foto: Kobel, B.; Ryser Ingenieure AG, Bern, entnommen aus (DWA-Merkblatt M114, 2020).....	5
Abbildung 5: Kartographische Darstellung des berechneten Angebotspotenzials (Heizleistung Wärmepumpe) aus dem Auslauf der Kläranlagen in Baden-Württemberg ab der Größenklasse 3 (491 Standorte). Quelle: ifeu.....	10
Abbildung 6: Potentieller Endenergiebedarf an Fernwärme zur Versorgung von Gebäuden mit Raumwärme und Trinkwarmwasser in Baden-Württemberg.	12
Abbildung 7: Exemplarische Darstellung der räumlichen Abgrenzung von Bestands- und Potenzialgebieten für Wärmenetze im Modell. Quelle: ifeu.	13
Abbildung 8: Endenergetisches Wärmesenkenpotenzial im Referenzjahr 2030 gemäß GIS-Modell. Quelle: ifeu.	14
Abbildung 9: Nutzbare Einspeiseleistung und Wärmemenge im Abgleich mit der Jahresdauerlinie der zugeordneten Wärmesenke. Quelle: ifeu.	15
Abbildung 10: Ausschöpfung des technischen Angebotspotenzials (Heizleistung einer Wärmepumpe) an Kläranlagenstandorten nach dem Abgleich mit den zugeordneten Wärmesenken. Quelle: ifeu.....	17
Abbildung 11: Exemplarische Darstellung der Datenzusammenstellung und Datenauswertung für 20 priorisierte Kläranlagenstandorte in Baden-Württemberg. Quelle: ifeu.	20
Abbildung 12: Verteilung des technisch-wirtschaftlich nutzbaren Potenzials auf Leistungsklassen.	22
Abbildung 13: Entfernungspotenzialkurve.	23
Abbildung 14: Das Wärmepumpenprinzip. Quelle: IBS.....	26
Abbildung 15: Der Wärmepumpen-Kreislaufprozess. Quelle: IBS.	27
Abbildung 16: Wärmequellen, Antriebsenergien und Wärmeverbraucher. Quelle: IBS.....	28
Abbildung 17: Prinzip der Abwasserwärmenutzung mit Wärmetauscher im Abwasserkanal. Quelle: IBS.....	29
Abbildung 18: Foto links: Einbau Wärmetauscher in kleineren bestehenden Rundkanal. Foto rechts: Einbau Wärmetauscher in einen größeren Rechteckkanal im Zuge des Kanalneubaus. Quelle: IBS.....	29
Abbildung 19: Wärmetauscher im Gerinne zum Vorfluter. Quelle: Huber.....	30
Abbildung 20: Externer Wärmetauscher im Behälter. Quelle: IBS.....	31
Abbildung 21: COP einer Wärmepumpe in Abhängigkeit der Heizungsvorlauf- und Wärmequellentemperatur.	32
Abbildung 22: COP in Abhängigkeit der Heizungsvorlauftemperatur bei 1-stufiger und 2-stufiger Ausführung und einer Quelltemperatur von $T_0 = 10\text{ °C}$	34
Abbildung 23: Luftbild Kläranlage Tübingen. Bildquelle: esri / ArcGIS.	35
Abbildung 24: Verlauf Abwasservolumenstrom und -temperatur über das Jahr am Standort Tübingen.....	36
Abbildung 25: Potenzial zur Wärmeerzeugung bei verschiedenen Abkühlungen.	37
Abbildung 26: Konzept zur zweistufigen Wärmeauskopplung.....	37
Abbildung 27: Luftbild Kläranlage Tübingen mit Darstellung des geplanten technischen Konzepts. Bildquelle: esri / ArcGIS.	38
Abbildung 28: Aufstellungsplan und Platzbedarf.....	39
Abbildung 29: Geplanter Netzverbund Süd. Bildquelle: Stadtwerke Tübingen.	41

Abbildung 30: Luftbild der Kläranlage Weinstadt. Bildquelle: esri / ArcGIS.	42
Abbildung 31: Verlauf Abwasservolumenstrom und -temperatur über das Jahr am Standort Weinstadt.....	43
Abbildung 32: Konzept zur Nutzung der Abwasserwärme in Weinstadt. Bildquelle: esri / ArcGIS...	44
Abbildung 33: Bestandswärmenetze und Ausbauplanung der Stadtwerke Weinstadt. Quelle: Stadtwerke Weinstadt.	46
Abbildung 34: Luftbild und geplante Umsetzung des technischen Konzepts auf der Kläranlage Altensteig. Bildquelle: esri / ArcGIS.....	47
Abbildung 35: Übersicht des möglichen Wärmenetzes zur Versorgung des Teilorts Altensteig- Berneck. Bildquelle: esri / ArcGIS.	48
Abbildung 36: Monatsbilanz Deckung Wärmebedarf gemäß Konzept.	49
Abbildung 37: Vergleich der spezifischen Werte der untersuchten Referenzprojekte.....	51
Abbildung 39: Karte der ausgewählten Projektinitiierungsstandorte.	52
Abbildung 40: Ganglinie der Abwassertemperatur und Kenngrößen der Abwassertemperatur während der Heizperiode an einem Beispiel-Standort.....	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Landesweite Potenziale.....	VIII
Tabelle 2:	Auswahl der Standorte für die Projektinitiierung.....	IX
Tabelle 3:	Vor- und Nachteile der Wärmegewinnung aus Abwasser an den verschiedenen Punkten (Zusammenstellung basierend auf (DWA-Merkblatt M114, 2020)).	3
Tabelle 4:	Bestehende Projekte zur Abwasserwärmenutzung in Baden-Württemberg.....	7
Tabelle 5:	Basisdaten Kläranlagen aus dem Leistungsnachweis 2019.	9
Tabelle 6:	Berechnete Kennwerte für die Priorisierung der Kläranlagenstandorte.....	18
Tabelle 7:	Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsbewertung neuer Wärmenetze.	21
Tabelle 8:	Auswahl der Kläranlagenstandorte für die Projektinitiierung.	24
Tabelle 9:	Ausbaustufen mit Heizleistungen und Wärmemengen.	38
Tabelle 10:	Investitionskostenschätzung für das Projekt Tübingen.....	40
Tabelle 11:	Wärmeerzeugungskosten gemäß dargestelltem Konzept am Standort Tübingen. .	41
Tabelle 12:	Investitionskostenschätzung für das Projekt Weinstadt	45
Tabelle 13:	Wärmeerzeugungskosten gemäß dargestelltem Konzept am Standort Weinstadt.	45
Tabelle 14:	Investitionskostenschätzung für das Projekt Altensteig.	49
Tabelle 15:	Wärmeerzeugungskosten gemäß dargestelltem Konzept am Standort Altensteig.	50
Tabelle 16:	Statistische Kenngrößen der Abwassertemperatur während der Heizperiode an einem Beispiel-Standort.	55
Tabelle 17:	Ergebnisse der Wärmepotenzialermittlung für die priorisierten Standorte.	55
Tabelle 18:	Vergleich der priorisierten Standorte hinsichtlich ihres einwohnerspezifischen Wärmepotenzials.....	56
Tabelle 19:	Übersicht der Handreichungen für lokale Entscheidungsträger*innen.	57
Tabelle 20:	Förderprogramme zur Erstellung von Konzepten.	58

Abkürzungsverzeichnis

AG	.....	Anschlussgrad
AGFW	.....	Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V.
AP	.....	Arbeitspaket
BEW	.....	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
BHKW	.....	Blockheizkraftwerk
COP	.....	Coefficient of Performance
DBSCAN	.....	Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise
DESI	.....	District Energy Systems
DWA-BW	.....	DWA-Landesverband Baden-Württemberg
FNR	.....	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
GIS	.....	Geographisches Informationssystem
GK	.....	Größenklasse
GWh	.....	Gigawattstunde
GWZ	.....	Gebäude- und Wohnungszählung
JAZ	.....	Jahresarbeitszahl
KA	.....	Kläranlage
KBS	.....	Koordinatenbezugssystem
K	.....	Kelvin
KEA-BW	.....	Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg
kW	.....	Kilowatt
LFKW	.....	Lehr- und Forschungsklärwerk
MWh	.....	Megawattstunde
OGewV	.....	Oberflächengewässerverordnung
RÜB	.....	Regenüberlaufbecken
TWh	.....	Terawattstunde
Vbh	.....	Vollbetriebsstunde
WÜ	.....	Wärmeübertrager

Zusammenfassung

Über die räumliche Zuordnung der nächstgelegenen bestehenden und potenziellen Wärmenetze und einen Abgleich von Wärmeangebot und -nachfrage wurden 258 Kläranlagenstandorte identifiziert, die ein technisch-wirtschaftlich nutzbares Einspeisepotenzial bereitstellen können. In Summe beläuft sich das ermittelte **nutzbare Potenzial von Wärmepumpen am Auslauf von Kläranlagen in Baden-Württemberg** auf eine **Einspeisekapazität in Wärmenetze von 537 MW** und eine **Einspeisemenge von bis zu 3,74 TWh/a** (Tabelle 1). Davon lassen sich rund ein Drittel (170 MW bzw. 1,35 TWh/a) in 18 bestehenden größeren Wärmenetzen mit ≥ 50 GWh/a Wärmeabsatz und rund zwei Drittel (370 MW bzw. 2,39 TWh/a) in Wärmenetzpotenzialgebieten und / oder in 240 bestehenden Wärmenetzen mit < 50 GWh/a Wärmeabsatz nutzen.

Tabelle 1: Landesweite Potenziale.

	Potenzialabschätzung		
	ab Größenklasse 3	Trockenwetterabfluss > 15 l/s	Technisch-wirtschaftlich nutzbar ¹
Anzahl Kläranlagenstandorte	491	366	258
Potenzielle Heizleistung Wärmepumpen [MW _{th}]	758	725	537
Potenzielle Wärmenetzeinspeisung [TWh/a]	6,64	6,35	3,74

Voraussetzungen für die Erschließung des Potenzials sind ein politisch angestrebter Ausbau von Wärmenetzen und eine gezielte lokale Steuerung durch kommunale Wärmeplanung, um die effiziente Erschließung von Wärmequellen und Wärmesenken innerhalb von rund einer Dekade zu gewährleisten. Die Modellergebnisse zeigen, dass dann im untersuchten Stichjahr 2030 rund 11 % der Wärmenetzeinspeisung bzw. 4,3 % des gesamten Nutzwärmebedarfs von Bestandsgebäuden in Baden-Württemberg durch Wärmepumpen am Auslauf von 258 Kläranlagen bereitgestellt werden könnten.²

Die exemplarische detaillierte Betrachtung von drei Kläranlagenstandorten in Tübingen, Weinstadt und Altensteig hat gezeigt, dass eine Umsetzung in der Praxis technisch realisierbar ist. Dabei **gilt es, für den jeweiligen Standort ein passendes Konzept zu entwickeln** und auf die Gegebenheiten vor Ort anzupassen. **Für die drei Musteranlagen wurden Steckbriefe erarbeitet**, welche die wichtigsten technischen Kennzahlen als Anhaltspunkt für eine erste Potenzialbewertung an vergleichbaren Standorten enthalten (Anhang I).

Aufbauend auf einer detaillierten Analyse standortspezifischer Daten und unter Berücksichtigung weiterer Kriterien in Absprache mit dem Auftraggeber, dem Projekt-Beirat und lokalen Stakeholdern wurden weitere **sieben Kläranlagenstandorte für eine Projektinitiierung ausgewählt** und Initialgespräche durchgeführt (Tabelle 2). Für die Gespräche mit den lokalen Akteuren (Kläranlagenbetreiber, Kommunen, Stadtwerke, Energieagenturen) wurden die verfügbaren technisch-wirtschaftlichen Kennzahlen aufbereitet, die Daten im Geographischen Informationssystem (GIS)

¹ Kriterium: Auslegungskapazität einer Transportleitung von Kläranlage zum nächsten Wärmenetz(-potenzial-)gebiet von mehr als 1 MW/km. Die entspricht Erfahrungswerten aus der Planungspraxis in der Schweiz.

² Die Zahlen beziehen sich auf die Anwendungsbereiche Raumwärme und Trinkwarmwasser in Bestandsgebäuden bei Fortschreibung der aktuellen Sanierungstätigkeit bis zum Jahr 2030 und den Daten zu Abwassermengen aus dem Jahr 2019 (vgl. Abschnitt 2).

angereichert und detailliertere Wärmesenkenanalysen durchgeführt. Auf dieser Grundlage wurden die lokalen Rahmenbedingungen und mögliche Konzepte für eine Erschließung des Potenzials diskutiert.

Tabelle 2: Auswahl der Standorte für die Projektinitiierung.

Kläranlage (Gemeinde, falls abweichend)	Größenklasse	Potenzielle Heizleistung Wärmepumpe [MW]	Kategorie Wärmesenke A) Wärmenetz vorhanden B) kein Wärmenetz aber Stadtwerk vorhanden C) kein Wärmenetz, kein Stadtwerk vorhanden	Stadtwerke vorhanden	Interessensbekundung vorhanden
Klärwerk 1 Sindelfingen	5	7,3	A	ja	ja
Blankenloch	4	0,5	C	nein	ja
Zipfelbachtal (Winningen)	4	0,8	A	ja	
Aalen	4	3,9	A	ja	ja
Unterkochen	3	1,3	B	ja	ja
Pfullingen	4	4,8	A	ja	
LFKW Büsnau (Stuttgart)	3	0,5	B	ja	

Den lokalen Akteuren wurden im Nachgang der Gespräche die Ergebnisse der Potenzialermittlung und der gemeinsamen Diskussion sowie Steckbriefe der drei untersuchten Musteranlagen Tübingen, Weinstadt und Altensteig zugeschickt. Darüber hinaus wurde eine **Checkliste zur Erstberatung und Projektanbahnung** mit den zu beteiligenden Akteuren, Erfolgsfaktoren und Hemmnissen erstellt (Anhang II). Der weitere Projektfortschritt soll u.a. vom Kompetenzzentrum Wärmewende begleitet werden, mit dem Ziel, jeweils zu einer konkreten Projektanbahnung zu gelangen, welche ebenfalls vom Umweltministerium Baden-Württemberg bezuschusst wird.

1 Einführung

1.1 Hintergrund und Ziele der Studie

Im Jahr 2021 hat sich Baden-Württemberg mit der Novelle des Klimaschutzgesetzes das Ziel gesetzt, den Treibhausgasausstoß des Landes bis 2030 im Vergleich zu den Gesamtemissionen des Jahres 1990 um mindestens 65 % zu senken und bis 2040 eine Klimaneutralität zu erreichen (Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg (KSG BW), 2021). Hierfür müssen neben der Transformation von Stromerzeugung, Industrie und Mobilität auch Lösungen für die Wärmeversorgung von Gebäuden gefunden und umgesetzt werden, welche heute noch zum Großteil über dezentrale Gas- und Ölheizungen erfolgt und für knapp ein Viertel der Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg verantwortlich ist.

Zentrale Herausforderungen der „Wärmewende“ im Gebäudebestand sind die Aktivierung von Einsparpotenzialen zur Minimierung des Wärmebedarfs (Dämmung, effiziente Flächennutzung, moderne Wärmeverteilsysteme) auf der einen und die Erschließung erneuerbarer Wärmequellen und Abwärme zur Substitution fossiler Brennstoffe auf der anderen Seite. Dies erfordert gerade in verdichteten Gebäudebeständen eine systematische Analyse der möglichen Wärmebedarfsentwicklung, möglicher lokaler Wärmequellen und Standorte zentraler Wärmeerzeuger sowie des Entwicklungsbedarfs von Infrastrukturen wie Wärmenetzen und Speichern.

Mit der Pflicht zur Erstellung eines kommunalen Wärmeplans bis zum 31.12.2023 soll in den Stadtkreisen und großen Kreisstädten ein strategischer Planungsprozess etabliert werden, in dem, basierend auf lokalen Daten zu Gebäudebestand, Energiesparpotenzialen und Potenzialen erneuerbarer Energien und Abwärme, konkrete Maßnahmen zur Gestaltung einer klimaneutralen Wärmeversorgung bis 2040 entwickelt werden (Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg (KSG BW), 2021, S. § 7d (1)). Für die laufende Wärmeplanung wurde unter Federführung der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA-BW) ein umfassender Handlungsleitfaden und ein Technologiekatalog erarbeitet sowie Beratungs- und Unterstützungsangebote geschaffen (KEA-BW, 2020; KEA-BW, 2022). Durch das Umweltministerium werden begleitende Studien zur Einordnung klimafreundlicher Wärmequellen gefördert.

Als potenzielle erneuerbare Energien für den Wärmesektor werden in dem Handlungsleitfaden zur kommunalen Wärmeplanung neben Biomasse, Geothermie, Solarthermie und Umweltwärme ebenfalls Abwasser und Faulgas aufgeführt (KEA-BW, 2020). Durch die europäische Kommission ist Abwasser seit 2018 als erneuerbare Energiequelle anerkannt (Richtlinie (EU) 2018 / 2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018). Entsprechende genutzte Wärmemengen können damit auch formell auf die EE-Ausbauziele der Bundesregierung im Wärmesektor angerechnet werden. Die Strom- und Wärmeerzeugung aus Faulgas, welches wiederum aus der anaeroben Schlammstabilisierung auf den Kläranlagen entsteht, hat sich bereits in der Praxis etabliert. Die Abwasserwärmerückgewinnung kommt jedoch bisher nur vereinzelt zum Einsatz, obwohl bundesweite Studien in diesem Bereich ein signifikantes Potenzial für die Wärmewende sehen (Kretschmer, 2022; Fritz & Pehnt, 2018). Dabei erscheint insbesondere die Abwasserwärmenutzung am Auslauf von Kläranlagen als interessante Option zur Versorgung von Bestandsgebäuden im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung. Eine Übersicht über Techniken zur Abwasserwärmenutzung sowie den jeweiligen Vor- und Nachteilen verschiedener Nutzungsarten wird in Kapitel 1.2 gegeben. Bestehende Projekte in Baden-Württemberg sind in Kapitel 1.3 zusammengestellt.

Es fehlt eine genaue Untersuchung und Einordnung der technisch-wirtschaftlichen Potenziale dieser regenerativen Wärmequelle und eine Sensibilisierung der Entwässerungsbetriebe, Kommunen und Energieversorger, um sie in größerem Umfang zu erschließen. Im Rahmen dieses Projekts „Lokalisierung von Standorten für den Einsatz von Abwasserwärmenutzung aus dem Auslauf von Kläranlagen in Baden-Württemberg“, welches gefördert wurde durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, wurden diese Aspekte behandelt. Die Arbeiten untergliederten sich in vier Arbeitspakete (AP): Es wurde eine GIS-Analyse des landesweiten technisch-wirtschaftlichen Nutzungspotenzials anhand von standortscharfen Daten aus dem DWA-Leistungsnachweis 2019, dem ifeu-Wärmeatlas und nacherhobener lokaler Daten (AP I und AP III) durchgeführt. Zudem fand eine Analyse der technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen von Referenzanlagen (AP II) statt. Im letzten Schritt (AP IV) wurden die Projektergebnisse in Form von Projektinitiierungsgesprächen an ausgewählten Standorten, aufbereiteten Steckbriefen, einer Checkliste zur Projektinitiierung, Fachartikeln und Berichten verbreitet (Abbildung 1).

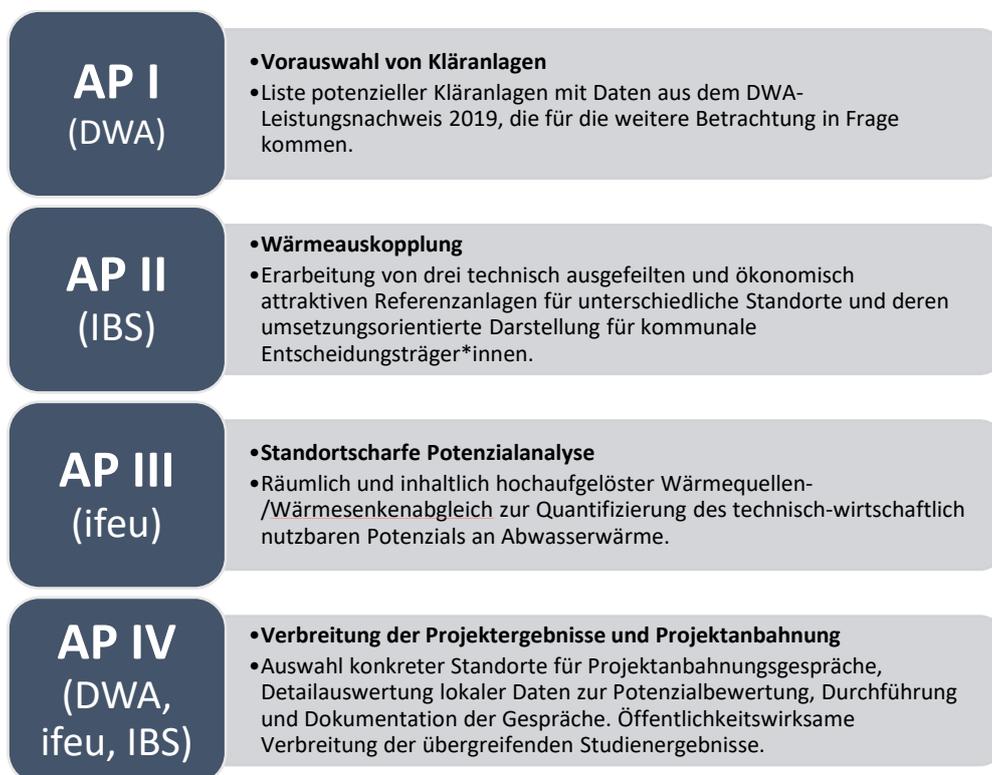


Abbildung 1: Arbeitspakete.

1.2 Abwasser als Wärmequelle

Die Abwasserwärmenutzung kann an drei unterschiedlichen Punkten erfolgen. Diese wären, wie in Abbildung 2 gezeigt:

1. innerhalb des Gebäudes,³
2. in der Kanalisation,
3. im Auslauf (auch Ablauf genannt) der Kläranlage.

³ Möglich ist auch eine Wärmerückgewinnung am Ausfluss des Entnahmepunkts (z.B. Dusche) zur Vorwärmung des einströmenden Warmwassers (Joulia SA, 2022).

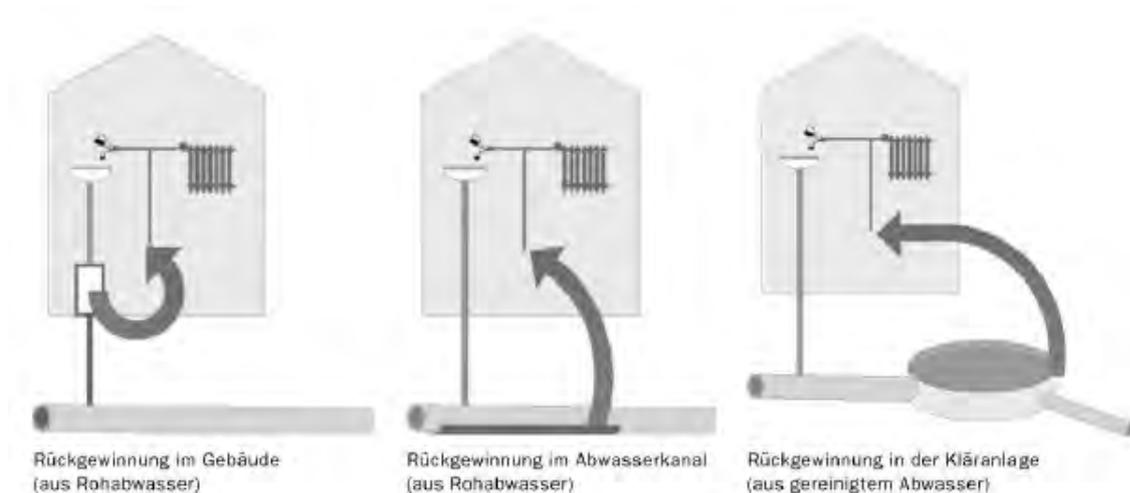


Abbildung 2: Mögliche Entnahmepunkte der Wärme aus dem Abwasser (Müller & Schmid, 2005).

Dabei gibt es verschiedene Vor- und Nachteile bezüglich der Entnahmestellen, welche in Tabelle 3 aufgeführt sind.

Tabelle 3: Vor- und Nachteile der Wärmegewinnung aus Abwasser an den verschiedenen Punkten (Zusammenstellung basierend auf (DWA-Merkblatt M114, 2020)).

Ort der Wärmegewinnung	Vorteile	Nachteile
Im Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> - relativ hohe Abwassertemperaturen - sehr kurzer Wärmetransportweg - Betreiber = Wärmeverbraucher - kanalnetzunabhängiger Betrieb - kein Einfluss durch Niederschlagswasser 	<ul style="list-style-type: none"> - geringer Abfluss mit tageszeitlich großen Schwankungen - störende Abwasserinhaltsstoffe - dezentrale Anlagen mit hohem Betriebsaufwand
Im Entwässerungssystem	<ul style="list-style-type: none"> - größere Abwassermengen - Abwasserinhaltsstoffe teilweise homogenisiert - kurze bis mittlere Wärmetransportwege - Erdreich als Zwischenenergiespeicher 	<ul style="list-style-type: none"> - Abhängigkeit von Kanalnetzbetreiber - Einbauten bedingen Überwachung - Einfluss auf Abwasserreinigung (in Abhängigkeit von der Entzugsmenge) - bei Mischsystemen: Einfluss durch Niederschlagswasser
Im Auslauf der Kläranlage	<ul style="list-style-type: none"> - kein Einfluss auf Abwasserreinigung (wenn Wärmegewinnungsanlage nach der biologischen Stufe der Kläranlagen) - Nutzung von wesentlich größeren Temperaturdifferenzen und 	<ul style="list-style-type: none"> - je nach Lage der Kläranlagen und geeigneter Wärmesenken größere Transportwege⁴

⁴ Untersuchungen aus Österreich haben ergeben, dass dieser Nachteil aufgrund der Siedlungsdynamik, in welcher die Bebauung näher an die Kläranlagen rückt, abgeschwächt wird (Kretschmer, 2022; Neugebauer, et al., 2015).

Ort der Wärmegewinnung	Vorteile	Nachteile
	<p>somit maximaler Wärmeentzug möglich (Begrenzung nur durch Wärmepumpentechnologie)</p> <ul style="list-style-type: none"> - größte Abwassermenge und damit größtes Wärmeangebot - Wärmepotenzial übersteigt meist den Eigenbedarf der Kläranlage selbst (Beheizung Faul-turm) - weitere Wärmequellen wie BHKWs, Ozonerzeuger oder Elektrolyseure auf Kläranlagen können ebenfalls für Siedlungen erschlossen werden - benutztes Abwasser ist gereinigt - Abkühlung des gereinigten Abwassers führt zur Wärmeentlastung des Gewässers 	

Die Erschließungstechnik lässt sich in zwei wesentliche Komponenten untergliedern. Erste Komponente ist die Wärmegewinnungsanlage für den Entzug thermischer Energie aus dem Abwasser. Zweite Komponente ist die Wärmenutzungsanlage, um die aus dem Abwasser gewonnene Wärmemenge für Raumheizung und Warmwasseraufbereitung zur Verfügung zu stellen (vgl. Abbildung 3).

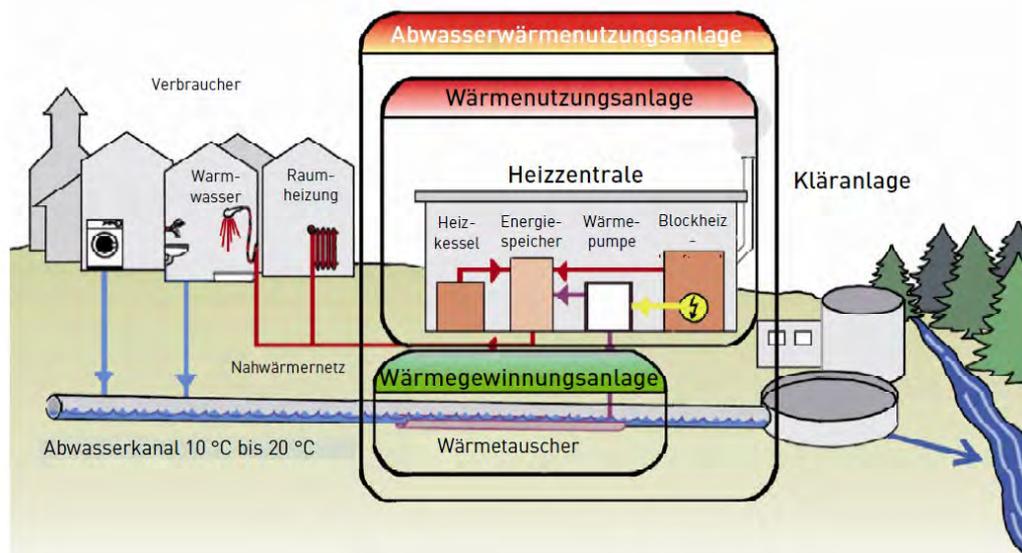


Abbildung 3: Aufbau einer Abwasserwärmenutzungsanlage (DWA-Merkblatt M114, 2020).

Die Wärmegewinnungsanlage kann dabei in Form eines Wärmeüberträgers bzw. Wärmetauschers innerhalb der Kanalisation im Fließquerschnitt, werksseitig im Kanalrohr integriert oder außerhalb des Kanals mithilfe eines Bypasses eingebaut werden (DWA-Merkblatt M114, 2020). Da die Fließstrecke des Auslaufkanals der Kläranlage meist kurz ist, wird hier ein Wärmeüberträger außerhalb des Kanals angeordnet. Ein außerhalb des Kanals angeordneter Wärmeüberträger ist in Abbildung 4 dargestellt. Das Abwasser wird hier aus dem Auslauf der Kläranlage entnommen und mithilfe eines Bypasses zum Wärmeüberträger geleitet. Nach der Entnahme der Wärme wird das

Abwasser wieder zurück zur Einleitstelle der Kläranlage in den Vorfluter geleitet. Von einer örtlichen Versetzung der Einleitstelle der Kläranlage zur eventuellen Vermeidung einer Rückführung des Abwassers zum Auslauf der Kläranlage wird auf Grund des daraus resultierenden Genehmigungsverfahrens abgesehen.



Abbildung 4: Außerhalb des Kanals angeordneter Wärmeübertrager (geschlossenes System) zur Rückgewinnung von Wärme aus dem Abwasser. Foto: Kobel, B.; Ryser Ingenieure AG, Bern, entnommen aus (DWA-Merkblatt M114, 2020).

Die Abwasserwärmenutzung aus dem Auslauf der Kläranlage ist gemäß Merkblatt DWA-M 114 anderen Entnahmepunkten vorzuziehen. Meist ist das Wärmepotenzial des Abwassers im Auslauf der Kläranlage höher als der eigene Wärmebedarf (DWA-Merkblatt M114, 2020). Zusätzlich kann die überschüssige Abwärme des BHKWs (nach Beheizung des Faulturmes und der Betriebsgebäude) ebenfalls in das Wärmenetz der Kommune eingespeist werden. Zukünftig könnte auch die Abwärme von Sauerstoff- und / oder Ozonerzeugern oder auch Elektrolyseuren eine Wärmequelle in Kläranlagen darstellen.⁵

Darüber hinaus kann im Auslauf der Kläranlage, im Gegensatz zur Entnahme der Wärme in der Kanalisation, Wärme entnommen werden, ohne den Reinigungsprozess negativ zu beeinflussen. Die Abkühlung wird allein durch die Wärmepumpentechnologie bzw. technisch einzuhaltende Mi-

⁵ Ein Pilotprojekt zum Betrieb eines Elektrolyseurs soll auf der Kläranlage Mainz durchgeführt werden (SWR, 2022).

nimaltemperaturen (Vermeidung von Eisbildung) begrenzt. Gleichzeitig sind bei üblichen Entzugsleistungen keine negativen Auswirkungen einer Einleitung kühleren Abwassers auf das Gewässer bekannt. (DWA-Merkblatt M114, 2020).

Eine Einschränkung der Wärmeentnahme auf Grund einer gesetzlich vorgegebenen minimalen Einleittemperatur in das Gewässer gibt es nicht bzw. ist in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) nicht vorgesehen. Ein Einfluss der Einleitung von kühlerem, gereinigtem Abwasser in einen wärmeren Vorfluter wird derzeit ausgeschlossen, ist jedoch gegebenenfalls zu prüfen.⁶

Unter Berücksichtigung der Belange des Klärprozesses und des Gewässerschutzes ist demnach eine durchschnittliche Temperaturspreizung zwischen Abwassertemperatur vor und nach dem Wärmeentzug auch von mehr als 5 Kelvin (K) möglich (DWA-Merkblatt M114, 2020). Die im realen Betrieb erreichbare Auskühlung wird jedoch auch durch die Anforderungen der Wärmesenke und entsprechenden Auslegungen der Anlagen bestimmt (Abschnitt 2.2).

1.3 Bestehende Projekte zur Abwasserwärmenutzung in Baden-Württemberg

Bisher handelt es sich bei Projekten zur Abwasserwärmenutzung in Baden-Württemberg größtenteils um einen Wärmeentzug über Rinnenwärmetauscher in der Kanalisation mit nachgeschalteter Wärmepumpe. Dadurch werden aktuell mehrheitlich einzelne Gebäude oder eine kleine Anzahl an Objekten in der direkten Umgebung versorgt. Dabei reicht die Bandbreite der realisierten Wärmeentzugsleistungen aus dem Abwasser von gut 20 kW bis knapp unter 500 kW. Eine Ausnahme bildet der Neckarpark Stuttgart, hier wird über einen Rinnenwärmetauscher eine deutlich höhere Entzugsleistung im Abwasserkanal von 2,1 MW realisiert. Die Wärme wird anschließend über ein Niedertemperaturwärmenetz mit einer Vorlauftemperatur von maximal 45 °C für die effiziente Versorgung von Neubauten mit Raumwärme genutzt (EWB, 2021).

Mit der Anlage in Ilsfeld besteht seit 2019 erstmals ein größeres Projekt zur Abwasserwärmenutzung im Auslauf der örtlichen Kläranlage mit einer Wärmeentzugsleistung von 600 kW, die für eine Einspeisung mittels Wärmepumpe in ein konventionelles Wärmenetz mit Vorlauftemperaturen von mehr als 80 °C in der Heizperiode genutzt wird. Eine Übersicht der recherchierten bestehenden Projekte findet sich in Tabelle 4.

⁶ Aussage von Herrn Sevan Tecer (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Referat 53 - Gewässerreinigung, stehende Gewässer, Bodensee) im Rahmen der Beirats-sitzung des Projektes am 05.10.2021.

Tabelle 4: Bestehende Projekte zur Abwasserwärmenutzung in Baden-Württemberg.

Lfd. NR	Baujahr	Einbauort	Typ des Wärmeübertragers (WÜ)	Ort	Leistung WÜ [kW]	Nutzung	Bemerkung
1.	1986	Kläranlage	Rohrbündel	Waiblingen Kläranlage		Wärmenetz	
2.	2004	Kanal	Rinne	Singen Technologiepark SinTec	~180	Verwaltungsgebäude	
3.	2004	Kläranlage (Belebung)	Rohrschlange	Freiberg a. N. Kläranlage	75	Betriebsgebäudehalle, Sporthalle, Büro	
4.	2009	RÜB	Rinne	Bretten	120	Wärmenetz, Schule, Wohngebäude, andere	
5.	2009	Kanal	Rinne	Tübingen Aischbachschule	23	Schule	
6.	2010	Kanal	Rinne	Kornwestheim Wohnanlage	110	Wohnanlage	
7.	2010	Kanal	extern	Stuttgart Ministerium	375	Büro	Heizen und Kühlen
8.	2010	Kanal	Rinne	Stuttgart TerrotAreal	120	Wohnanlage Seelbergwohnen	
9.	2010	Kanal	Rinne	Rauenberg	k.A.	Kindertagesstätte Märzwiesen	
10.	2011	Kanal	Rinne	Mannheim Pumpwerk Ochsenpferch	76	Betriebsgebäude	
11.	2012	Kanal	Rinne	Konstanz Wohnpark Petershausen	240	Wohnanlage	
12.	2012	Kanal	Wickelrohr	Winnenden Kläranlage Zipfelbachtal	34	Kläranlage + Gärtnerei + Tierheim	
13.	2012 / 2013	Kanal	Rinne	Horb a. N. Neckarbad	80	Schwimmbad	
14.	2013	Kanal	Rinne	Kirchheim unter Teck	45	Gymnasium	
15.	2014	Kanal	Rinne	Göppingen Kreissparkasse	49	Verwaltungsgebäude	
16.	1982 / 2015	Kanal	Rinne	Salemer Pflughof Esslingen Gemeindehaus	24	Veranstaltungs- und Verwaltungsgebäude	

Lfd. NR	Baujahr	Einbauort	Typ des Wärmeübertragers (WÜ)	Ort	Leistung WÜ [kW]	Nutzung	Bemerkung
17.	2015	Kanal	Rinne	Mannheim Verwaltungsgebäude Käfer-taler Str.	108	Stadtentwässerung Mannheim	
18.	2016	Kanal	Rinne	Göppingen Verwaltungsgebäude	470	Schuler AG	Kühlung 1.000 kW
19.	2016	Kanal	Rinne	Stuttgart Stadtmuseum	164	LHS Stuttgart	Kühlung 290 kW
20.	2017	Kanal	Rinne	Mannheim Stadtarchiv	150	Stadt Mannheim	Kühlung 250 kW
21.	2018	Kanal	Rinne	Stuttgart Wohn- und Gewerbegebiet Neckarpark	2.100	LHS Stuttgart	
22.	2018	Kanal	Rinne	Stuttgart Landesbibliothek Baden-Württemberg	90	Vermögen und Bau Baden-Württemberg	Kühlung 225 kW
23.	2019	Kanal	Rinne	Stuttgart Katharinenhospital	300	Klinikum Stuttgart	Kühlung 484 kW
24.	2019	Kläranlage (Zulauf Sandfang)	Rinne	Karlsruhe Klärwerk Rechenanlage	80	Stadt Karlsruhe	
25.	2019	Kanal	Rinne	Göppingen Verwaltungszentrum	151	Stadt Göppingen / EVF	Kühlung 272 kW
26.	2019	Kanal	Rinne	Stuttgart Wohnbau Filderbahnplatz	59	Bietigheimer Wohnbau	
27.	2019	Kläranlage	Plattenwärmetauscher	Ilsfeld	2 x 300	Wärmenetz	

2 Standortscharfe Potenzialanalyse

Die nutzbaren Potenziale von Wärme aus dem Auslauf von Kläranlagen über Wärmenetze wurden durch die räumliche und zeitliche Korrelation eines Abwasserstroms (Angebotspotenzial) mit einer Wärmenachfrage (Nachfragepotenzial) unter Berücksichtigung technisch-wirtschaftlicher Restriktionen der Erschließung, Speicherung und Verteilung der Wärme bestimmt.

Im Rahmen der Studie wurde eine standortscharfe Wärmequellen- / Wärmesenkenanalyse vom ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg durchgeführt, um die über Wärmenetze nutzbaren Potenziale genauer zu bestimmen. Die Arbeiten gliederten sich erstens in eine Bewertung der landesweiten Nutzungspotenziale und zweitens in eine Priorisierung einzelner Kläranlagenstandorte für eine Projektinitiierung im Rahmen des Arbeitspakets IV.

2.1 Methodik

2.1.1 Angebotspotenzial

Als Grundlage für die Quantifizierung des Angebotspotenzials an Abwasserwärme an den einzelnen Kläranlagenstandorten lagen die Basisdaten von 491 Kläranlagen in Baden-Württemberg ab der Größenklasse drei aus dem Leistungsnachweis des DWA-Landesverbands Baden-Württemberg (DWA-BW) des Jahres 2019 vor. Eine Übersicht über die vorhandenen Datenpunkte ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Basisdaten Kläranlagen aus dem Leistungsnachweis 2019.

Datenpunkt	Beschreibung
WIBAS ID	Eindeutiger Schlüssel Kläranlage
Name	Ortsname des Kläranlagenstandorts
GK	Größenklasse (1-5)
Ausbaugröße	Kapazität in Einwohnergleichwerten
Schmutzwasserabfluss (a)	Volumen des jährlich behandelten Schmutzwassers [m ³ /a]
Fremdwasserabfluss (b)	Volumen des jährlich behandelten Fremdwassers [m ³ /a]
Regenwasserabfluss (c)	Volumen des jährlich behandelten Regenwassers [m ³ /a]
Maximaler Abfluss	Höchster Volumenstrom des Abflusses [l/s]
Geographische Koordinaten	x/y-Punktkoordinaten (KBS EPSG:31467)

In einem ersten Schritt wurde ein mittlerer Volumenstrom in l/s der im Jahresverlauf relativ kontinuierlich anfallenden Abwasserfraktionen „Schmutzwasser“ und „Fremdwasser“ als arithmetischer Mittelwert aus den behandelten Jahresvolumina in m³/a berechnet. Der zeitlich sehr diskontinuierlich anfallende Regenwasserabfluss wurde nicht berücksichtigt. In Anlehnung an DWA-M 114 wurden anschließend 366 Standorte mit einem mittleren Abfluss oberhalb der Mindestgrenze von **15 l/s für einen Mindest-Trockenwetterabfluss** ausgewählt. Anhand folgender, auf den Erkenntnissen aus AP II aufbauenden Parameter wurde für jeden Standort eine nutzbare Wärmeentzugsleistung aus dem Abwasser (1) und eine potenzielle Einspeiseleistung einer Wärmepumpe in ein Wärmenetz (2) berechnet:

$$(1) \quad W_{ABW} = \dot{V}_{a,b} * \rho * c_p * \Delta T$$

$$(2) \quad P_{WP} = W_{ABW} * \left(\frac{JAZ}{JAZ-1} \right)$$

mit:

W_{ABW}	[kW]	Wärmeentzugsleistung Abwasser,
$\dot{V}_{a,b}$	[l/s]	Volumenstrom (Durchfluss) Schmutzwasser (a) und Fremdwas- ser (b),
ρ	1000 [kg/m ³]	Dichte Wasser (bei T 0 °C bis 20 °C pauschal),
c_p	4,19 [kJ/kg*K]	Spezifische Wärmekapazität Wasser (bei T 0 °C bis 20 °C pau- schal)
ΔT	4 [K]	Temperaturspreizung Wärmetauscher,
P_{WP}	[kW]	Heizleistung Wärmepumpe,
JAZ	2,8	Jahresarbeitszahl Wärmepumpe (vgl. Kapitel 3.1.4).

Mit der Festlegung der erreichbaren **Temperaturspreizung ΔT am Wärmetauscher auf 4 K für alle Anlagen** im Land wurde eine konservative Abschätzung der nutzbaren Entzugsleistung aus dem Auslauf getroffen. Durch den Einsatz größer dimensionierter Wärmetauscher könnten an den meisten Standorten auch bei sehr niedrigen Außentemperaturen technisch höhere Temperaturspreizungen realisiert werden, ohne das Wasser zu stark auszukühlen. Die geschätzten Werte im Rahmen der GIS-Analyse sind deshalb als untere Grenze des technischen Angebotspotenzials zu verstehen. Für die Projektinitiierung wurden die Potenziale noch einmal detaillierter anhand mehrjähriger, tagesscharfer Messungen der Durchflussmengen und Abwassertemperaturen berechnet (vgl. Kapitel 4.2). Abbildung 5 veranschaulicht die räumliche Verortung des im GIS-Modell quantifizierten Angebotspotenzials in Baden-Württemberg.

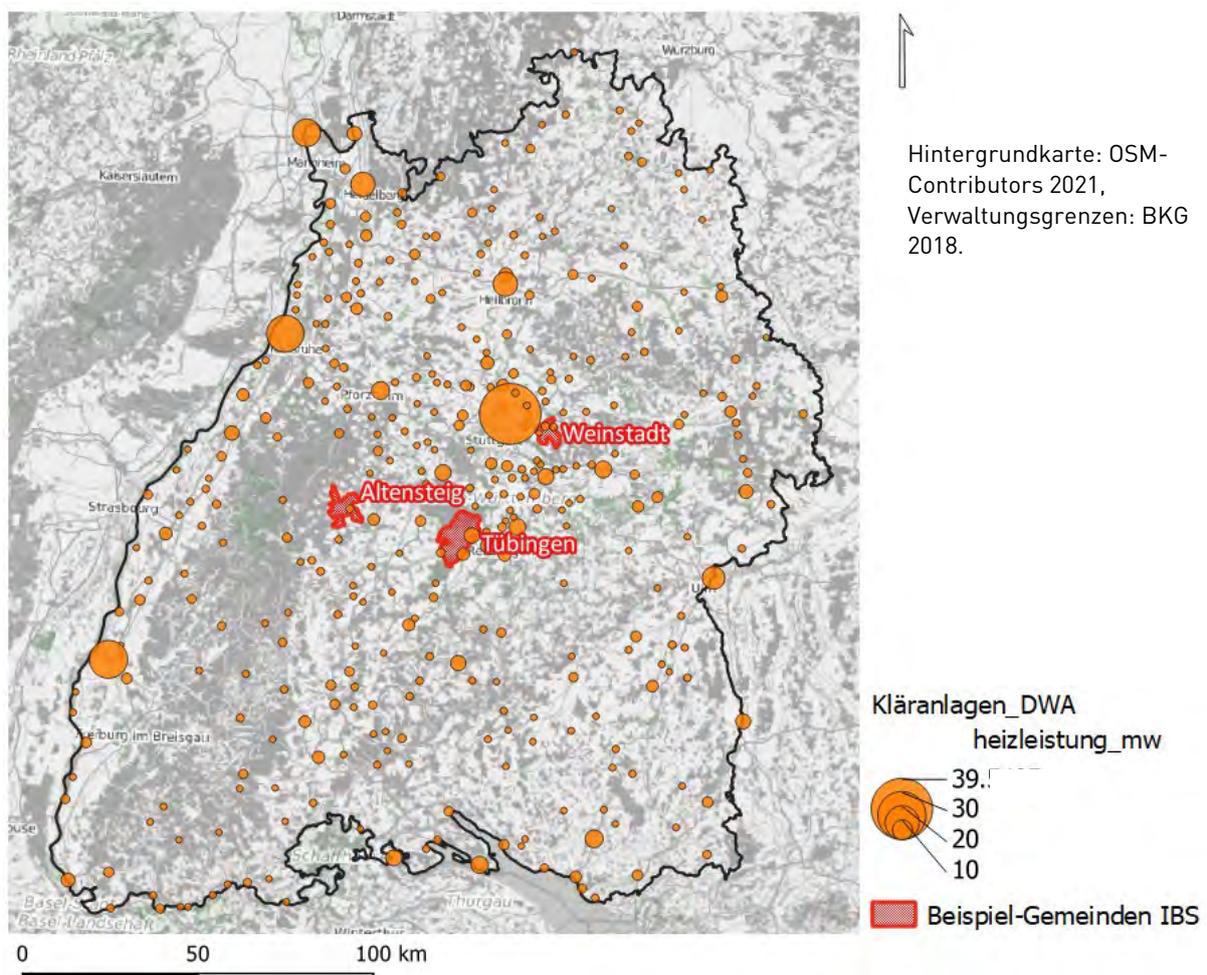


Abbildung 5: Kartographische Darstellung des berechneten Angebotspotenzials (Heizleistung Wärmepumpe) aus dem Auslauf der Kläranlagen in Baden-Württemberg ab der Größenklasse 3 (491 Standorte). Quelle: ifeu.

2.1.2 Nachfragepotenzial

Zur Quantifizierung potenzieller Wärmesenken in räumlicher Nähe zu den Kläranlagenstandorten wurde der ifeu-Wärmeatlas 2.0 verwendet. Das Modell basiert auf einer Klassifizierung der 3D-Gebäudemodelle der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsämter im Level-of-Detail 1 (Stand 09/2016) in energetische Wohn- und Nichtwohngebäudetypen gemäß der Gebäudetypologie des ifeu-Gebäudemodells GEMOD. Über die Berücksichtigung von Baualtersklassen von Wohngebäuden aus der Gebäude- und Wohnungszählung 2011 auf einem bundesweiten Hektarraster und Klimazonen gemäß DIN-V-18599 wurden Gebäudetyp-spezifische, jährliche Nutzwärmebedarfe für Raumwärme und Trinkwarmwasser aus GEMOD weiter regional differenziert. Das Modell simuliert Gebäudetyp-spezifische mittlere Sanierungsstände einzelner Bauteile (bezogen auf den Gesamtbestand in Deutschland) und führt eine Verbrauchskalibrierung berechneter Heizwärmebedarfe durch.⁷

Das Modell ermöglicht neben einer räumlich hochauflösenden Abschätzung des Nutzwärmebedarfs von Gebäuden im Basisjahr 2016 eine Spiegelung von simulierten Entwicklungspfaden des Nutzwärmebedarfs von Bestandsgebäuden – bestimmt durch Sanierungsrate und Sanierungstiefe einzelner Bauteile innerhalb spezifischer Austauschzyklen – in die räumliche Datengrundlage. Dies lässt speziell im Bereich Wärmenetzinfrastrukturen die Berücksichtigung zukünftig abnehmender Wärmebedarfsdichten im Gebäudebestand bei der Abgrenzung von Potenzialgebieten zu.

Für die Analyse des über Wärmenetze erschließbaren Nachfragepotenzials rund um die Kläranlagenstandorte wurden die gebäudescharfen Nutzwärmebedarfe aus dem Wärmeatlas 2.0 im Basisjahr 2016 und die Ergebnisse einer Simulation der Nutzwärmebedarfe im Jahr 2030 auf einem Referenz-Entwicklungspfad (aktuell typische Sanierungsraten und –tiefen) verwendet. Hervorzuheben ist, dass im räumlichen Modell nur die Wärmebedarfe von Bestandsgebäuden entsprechend der verfügbaren Geodatengrundlage abgebildet wurden; Neubauten sind im Betrachtungsjahr 2030 nicht Bestandteil der Analyse.

Die energetische Bilanzierung und Bewertung potenzieller Versorgungsgebiete für Wärmenetze erfolgte auf der Ebene eines landesweiten Hektarrasters. Hier wurden die Nutzwärmebedarfe für Raumwärme und Warmwasser der Gebäude aus dem Wärmeatlas 2.0 aggregiert. Diese wurden über einen pauschalen Jahresnutzungsgrad der Heizungsanlage und des Verteilsystems im Gebäude von 90 % auf einen potenziellen Endenergiebedarf an Fernwärme⁸ pro Rasterzelle umgerechnet. Abbildung 6 verdeutlicht die angenommene Entwicklung eines potenziellen Endenergiebedarfs an Fernwärme in Bestandsgebäuden in Baden-Württemberg im Entwicklungspfad „Referenz“ im räumlichen Modell.

⁷ <https://www.ifeu.de/methoden-tools/modelle/waermeatlas/> (Zugriff: 15.12.2021).

⁸ Die Endenergieabgabe eines Wärmenetzes wird im Folgenden, unabhängig von der Größe des Wärmenetzes, „Fernwärme“ genannt.

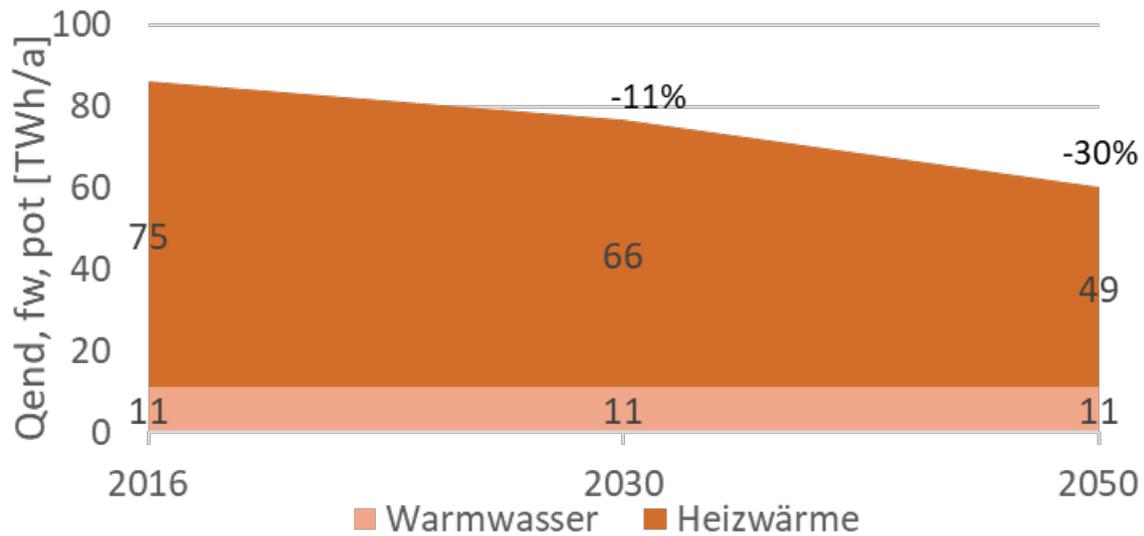


Abbildung 6: Potentieller Endenergiebedarf an Fernwärme zur Versorgung von Gebäuden mit Raumwärme und Trinkwarmwasser in Baden-Württemberg.

Auf Ebene des Hektarrasters erfolgte eine räumliche Abgrenzung von aktuell bereits über Wärmenetze versorgten Gebieten, zusätzlichen Eignungsgebieten und Gebieten ohne Eignung für Wärmenetze.

Für die Verortung von Bestandsnetzen wurde auf kartographische Darstellungen von Trassenverläufen oder Versorgungsgebieten von Netzbetreibern zurückgegriffen, die dem ifeu für die Städte Stuttgart, Karlsruhe, Reutlingen, Ludwigsburg, Mannheim, Heidelberg, Heilbronn, Pforzheim, Esslingen und Tübingen in aufbereiteter Form vorliegen. Zusätzlich flossen Daten aus der Gebäude- und Wohnungszählung 2011 (GWZ) zur Heizungsart von Wohngebäuden auf einem Hektarraster, Angaben zu Wärmeversorgungssystemen auf Ebene von Ortsteilen aus der AGFW-DESI-Datenbank, eine Liste der Bioenergiedörfer der FNR auf Gemeindeebene und eine Liste genossenschaftlicher Wärmenetze der Leuphana Universität Lüneburg auf Gemeindeebene in die Modellierung ein. Die Energiebilanz – der Anteil an Fernwärme am Wärmebedarf pro Rasterzelle – wurde primär aus den GWZ-Daten erstellt und für größere Netze mit Angaben der Netzbetreiber abgeglichen (AGFW, 2022; FNR, 2022).

Insgesamt wurden so **210 Gemeinden mit Wärmenetzen und 4,6 TWh Endenergie Fernwärme** in Baden-Württemberg verortet. Das Modell deckt damit rund zwei Drittel des in der Landesenergiebilanz 2016 ausgewiesenen Endenergieverbrauchs an Fernwärme in den Sektoren Privathaushalte und Gewerbe / Handel / Dienstleistungen ab. Nicht erfasst wurden primär kleinere und neuere Wärmenetze, die in den ausgewerteten räumlichen Datengrundlagen nicht enthalten sind.

Eignungsgebiete für weitere Wärmenetze wurden für die landesweite Potenzialanalyse und die erste Priorisierung der Standorte über den Indikator der flächenbezogenen Wärmebedarfsdichte abgegrenzt. Dafür wurde der potenzielle Endenergiebedarf an Fernwärme im Stichjahr „Referenz 2030“ aller Hektarrasterzellen **oberhalb einer Mindestdichte von 150 MWh/(ha*a)** als Eingangswert für eine Dichte-basierte Clusterung mit dem DBSCAN-Algorithmus verwendet. Ziel dieses Verfahrens war es, für die gesamte Fläche des Landes Baden-Württemberg die potenziell über Wärmenetze zu versorgenden Gebiete in Form zusammenhängender Cluster zu identifizieren. Darauf aufbauend konnte ein Abgleich sowohl von Entfernungen zu Kläranlagenstandorten als auch von Energiemengen durchgeführt werden. Dabei wurden keine topographischen Einflussfaktoren (Relief, räumliche Hindernisse wie Flüsse, Infrastrukturen etc.) berücksichtigt und keine explizite

Kostenbetrachtung durchgeführt. Eine genauere Abgrenzung möglicher Versorgungsgebiete für neue Wärmenetze und eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit anhand von Wärmeverteilungskosten, die u.a. eine explizite Quantifizierung der Verteilnetzlängen beinhaltet, wurde nachgelagert im Rahmen der Detailanalyse einzelner priorisierter Standorte durchgeführt. Insgesamt wurden über die Dichte-basierte **Clusterung rund 3.800 zusammenhängende Wärmenetzpotenzialgebiete in Baden-Württemberg identifiziert**. Abbildung 7 veranschaulicht exemplarisch die räumliche Abgrenzung von Gebieten mit bestehenden Wärmenetzen im Stadtgebiet Tübingen und zusammenhängenden Gebieten mit Potenzial für neue Wärmenetze im Stadtgebiet Altensteig auf einem landesweiten Hektarraster.

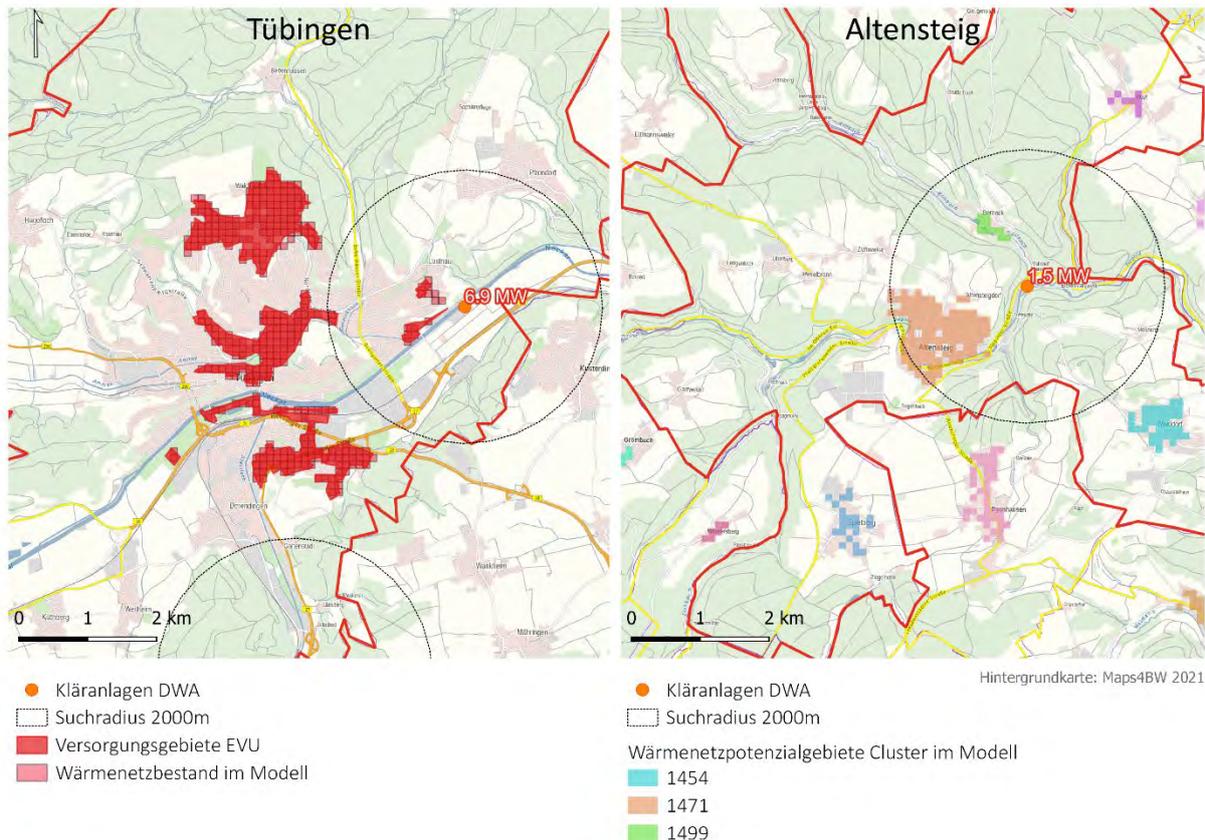


Abbildung 7: Exemplarische Darstellung der räumlichen Abgrenzung von Bestands- und Potenzialgebieten für Wärmenetze im Modell. Quelle: ifeu.

Der „Anschlussgrad“ (AG) – der Anteil an Fernwärme am Wärmebedarf pro Rasterzelle – wurde für die Potenzialcluster **pauschal auf 50 % gesetzt**. Dies entspricht einer optimistischen Annahme der in rund einer Dekade erreichbaren Anschlussraten von Gebäuden bei staatlich forciertem Ausbau von Wärmenetzen und einer gezielten Steuerung durch kommunale Wärmeplanung. Gleichzeitig unterstreicht diese Annahme das Erfordernis hoher Anschlussraten von Gebäuden für Investitionsentscheidungen in neue Wärmenetze. In der Gesamtbilanz ergab sich ein bei einer Referenzentwicklung im Stichjahr 2030 **potenziell über Wärmenetze zu versorgender Endenergiebedarf für Raumwärme und Trinkwarmwasser in Gebäuden in Baden-Württemberg von rund 29 TWh/a bzw. 38 % des Gesamtbedarfs von 76 TWh/a** (Abbildung 8).

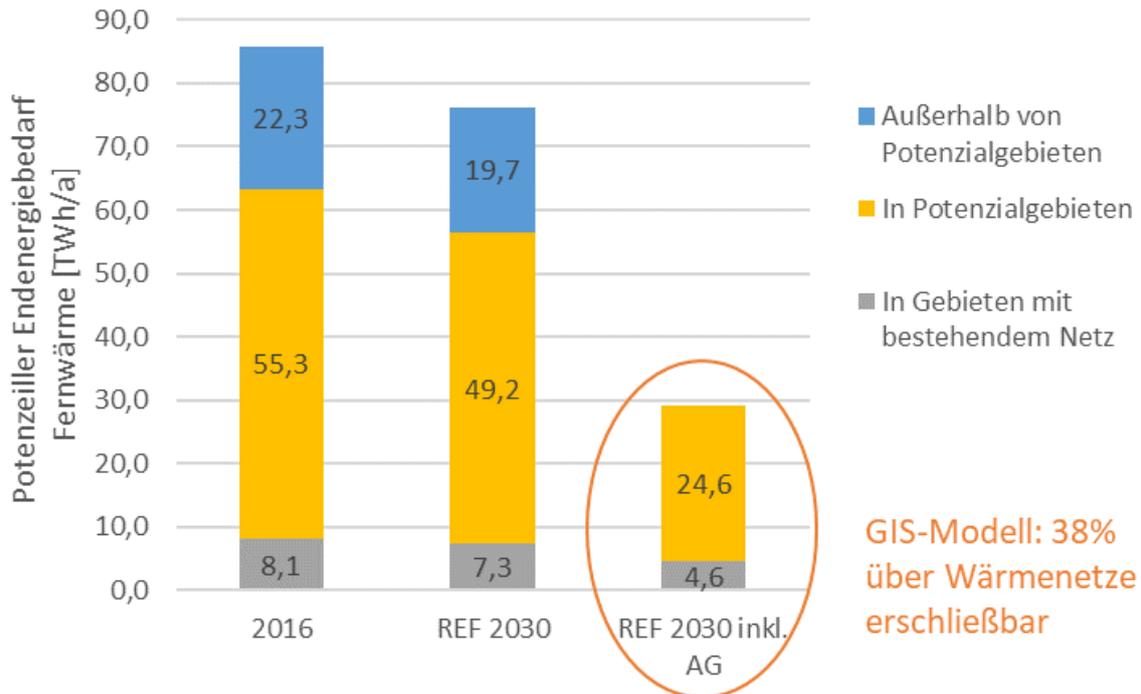


Abbildung 8: Endenergetisches Wärmesenkenpotenzial im Referenzjahr 2030 gemäß GIS-Modell. Quelle: ifeu.

2.1.3 Quellen- / Senkenabgleich

Ein wichtiger Aspekt der Potenzialbewertung ist der räumliche und zeitliche Abgleich eines Wärmeangebots mit einem Wärmebedarf. So steht das in Abschnitt 2.1.1 quantifizierte Angebotspotenzial in Form einer Heizleistung von Wärmepumpen zwar kontinuierlich zur Verfügung, kann jedoch ggf. nicht zu jeder Stunde des Jahres vollständig genutzt werden, wenn das in Abschnitt 2.1.2 quantifizierte Nachfragepotenzial in Form eines Wärmebedarfs pro Jahr in der Umgebung außerhalb der Heizperiode von Oktober bis April zu niedrig ist. Ziel des Abgleichs war es deshalb, für jeden Kläranlagenstandort die über Wärmenetze im Jahresverlauf nutzbaren Wärmemengen abzuschätzen und über geeignete Indikatoren eine Priorisierung der einzelnen Standorte für die Projektinitiierung in AP IV durchzuführen.

Als Eingangsdaten der Analyse lagen die geschätzten Heizleistungen von Wärmepumpen in MW an den einzelnen Kläranlagenstandorten und die (potenziellen) Endenergiebedarfe an Fernwärme in GWh/a für Bestandsgebiete und Potenzialcluster vor.

Der Quellen- / Senkenabgleich umfasste in einem ersten Schritt eine räumliche Zuordnung des jeweilig nächstgelegenen bestehenden Wärmenetzes und des jeweilig nächstgelegenen Potenzialclusters zu den einzelnen Kläranlagenstandorten. Dabei wurde vereinfachend die Luftlinie zwischen Punktkoordinaten und dem nächsten Punkt auf dem Polygon des Bestands- oder Potenzialgebiets herangezogen.

In einem zweiten Schritt erfolgte ein Abgleich der verfügbaren Heizleistung einer Wärmepumpe mit dem zeitlichen Wärmebedarfsprofil der zugeordneten Wärmesenken. Dafür wurde mit folgender Formel 3 für jede Wärmesenke die maximal erforderliche Einspeiseleistung $P_{max, fw, in}$ in MW (Spitzenlast) berechnet, indem mittlere Netzverluste und typische mittlere Vollbenutzungsstunden der gesamten Einspeisekapazität in einem Wärmenetz angesetzt wurden.

$$(3) \quad P_{max, fw, in} = \frac{\left(\frac{Q_{f, fw}}{\eta_d}\right)}{t_{vbh}}$$

mit:

$Q_{f, fw}$	[MWh/a]	Potenzieller Endenergiebedarf Fernwärme,
η_d	0,87 [-]	Jahresnutzungsgrad Verteilnetz. 13 % Netzverluste angenommen,
t_{vbh}	2000 [h/a]	Vollbenutzungsstunden der installierten Einspeiseleistung aller Wärmeerzeuger ⁹ .

Die technisch nutzbare Heizleistung sowie die jährlich nutzbare Wärmemenge wurden anschließend über einen Abgleich mit einer vereinfachten Jahresdauerlinie der Wärmenetzeinspeisung bestimmt. Dabei wurde eine Obergrenze der **Auslegung einer Wärmepumpe auf 90 % der Jahreseinspeisemenge, was ca. 50 % der Spitzenlast entspricht**, angewandt. Damit wurde berücksichtigt, dass Wärmepumpen in kleineren Netzen, in denen sie theoretisch den gesamten Jahresbedarf decken könnten, aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht auf den Bereich der Spitzenlast ausgelegt werden. Abbildung 9 zeigt die Bestimmung der technisch nutzbaren Einspeiseleistung und der jährlich nutzbaren Wärmemenge am Auslauf der Kläranlage im Abgleich mit einer abstrahierten Jahresdauerlinie der zugeordneten Wärmesenke.

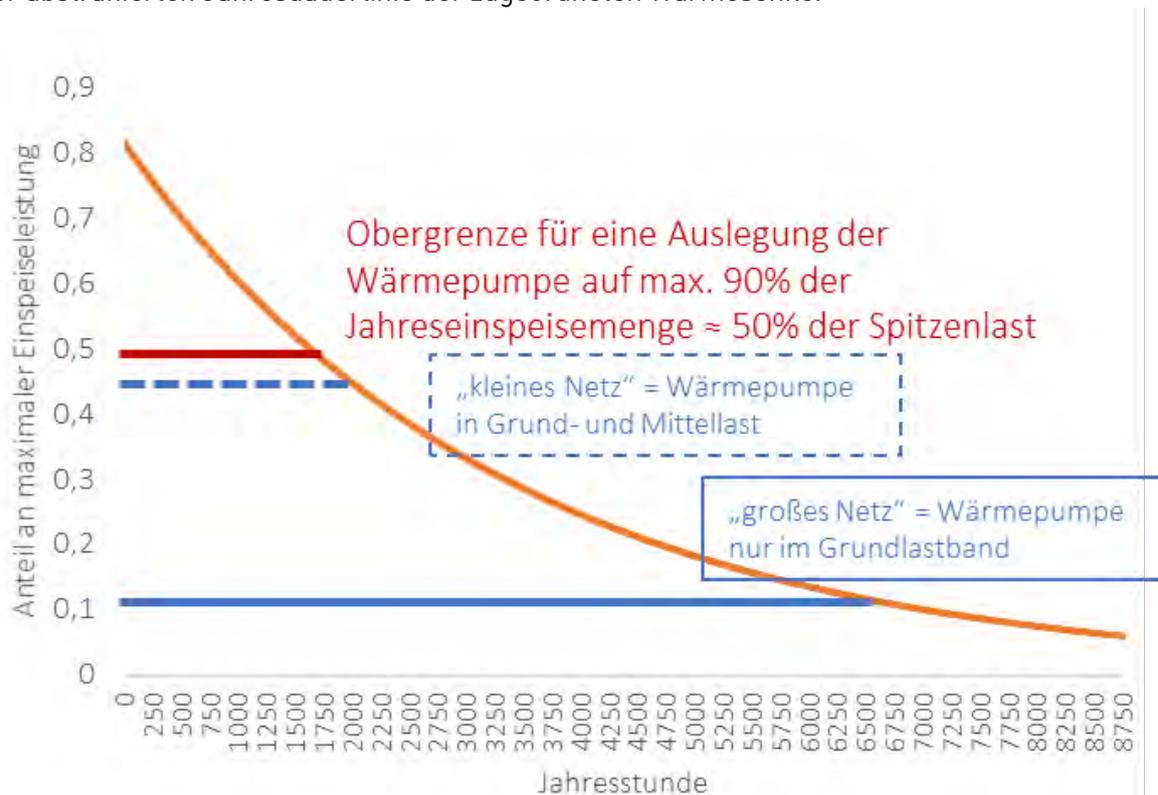


Abbildung 9: Nutzbare Einspeiseleistung und Wärmemenge im Abgleich mit der Jahresdauerlinie der zugeordneten Wärmesenke. Quelle: ifeu.

⁹ Wert basiert auf branchentypischen Vollbenutzungsstunden der installierten Fernwärmeerzeugungskapazitäten unter Berücksichtigung zukünftig leicht abnehmender Auslastung durch Gebäudedämmung.

Mit dem Ansatz wird eine bestmögliche Auslegung der Wärmepumpe im Verbund mit anderen Wärmeerzeugern zur Deckung des Wärmebedarfsprofils widergespiegelt. Aus diesem Leistungsabgleich¹⁰ wurden die jährlichen Vollbenutzungsstunden von Wärmepumpen an den einzelnen Kläranlagenstandorten individuell berechnet. So können zum Beispiel gemäß Abbildung 9 einer Wärmepumpe mit der Heizleistung x in einem „großen Netz“ ca. 8.000 Vbh zugeordnet werden, während eine Wärmepumpe derselben Heizleistung x in einem „kleinen Netz“ ca. 4.500 Vbh zugeordnet werden würden.

Als Zuordnungskriterium für die technisch-wirtschaftliche Nutzbarkeit der Energiemengen wurde, basierend auf Kennwerten aus Praxisprojekten in der Schweiz, eine **Mindestkapazität der Transportdistanz (Luftlinie) von 1 MW/km** angewandt (Energie Schweiz (Hg.) ohne Jahr). Das technische Angebotspotenzial an Kläranlagenstandorten, denen keine Wärmesenke mit ausreichend hoher Einspeiseleistung und in ausreichend niedriger Entfernung zugeordnet werden konnte, wurde nicht als technisch-wirtschaftlich nutzbares Potenzial betrachtet.

Ein wichtiger Aspekt des energetischen Abgleichs ist, ob die zugeordneten Wärmenetzbestands- und Potenzialgebiete gemeinsam oder separat betrachtet werden. Praxiserfahrungen zeigen, dass bestehende Wärmenetzgebiete innerhalb von Kommunen oftmals bereits thermohydraulisch verbunden sind oder Pläne für Verbindungsleitungen vorliegen, um Wärmetransport und Erzeugereinsatz zu optimieren. Aus diesem Grund wurden die Wärmebedarfe aller Gebiete mit bestehendem Wärmenetz innerhalb einer Kommune aggregiert betrachtet. Die Praxiserfahrungen aus AP II verdeutlichen die Tendenz – insbesondere bei „kleineren“ Bestandsnetzen – des Wärmenetzausbaus in angrenzenden Gebieten (z.B. Ilsfeld, Weinstadt). Diese Bestandsnetze lassen sich im Modell grob über den Grenzwert eines Endenergiebedarfs an Fernwärme von weniger als 50 GWh/a abgrenzen.

Um ein genaueres Bild über die technisch-wirtschaftlichen Nutzungspotenziale in Abhängigkeit der betrachteten Wärmesenken aus dem entwickelten GIS-Modell für ganz Baden-Württemberg zu bekommen, wurde eine Zwischenauswertung für drei Kategorien von Wärmesenken durchgeführt:

1. Bestehende Wärmenetze mit einem Endenergiebedarf an Fernwärme ≥ 50 GWh/a,
2. Bestehende Wärmenetze mit einem Endenergiebedarf an Fernwärme < 50 GWh/a,
3. Wärmenetzpotenzialgebiete.

Abbildung 10 zeigt die Ausschöpfung des technischen Angebotspotenzials als Heizleistung einer Wärmepumpe mit 8.760 Vbh/a nach dem Abgleich mit den verschiedenen, im GIS-Modell zugeordneten Wärmesenken. Die dargestellten Ergebnisse dieser Auswertung verdeutlichen, dass in größeren Bestandsnetzen (blau) das Angebotspotenzial aus dem Auslauf von Kläranlagen meistens fast vollständig genutzt werden kann. In kleineren Bestandsnetzen (orange) ist dies auch oft möglich, es wird jedoch auch die Bedeutung der Erschließung weiterer, ggf. an die Bestandsnetze angrenzender, Potenzialgebiete (grau) deutlich, um noch größere Teile des Angebotspotenzials zu erschließen. In der Praxis ist eine Tendenz zur erhöhten Wachstumsdynamik bei „kleineren“ Wärmenetzen < 50 GWh/a zu beobachten. Zur Bestimmung der landesweiten Nutzungspotenziale und der Priorisierung von Standorten wurden die Bestandsnetze < 50 GWh/a deshalb jeweils mit dem nächsten Potenzialgebiet zusammen als Wärmesenke betrachtet.

¹⁰ Der Leistungsabgleich vergleicht, welche Leistung maximal genutzt werden kann und in welchem Umfang diese abgerufen wird.

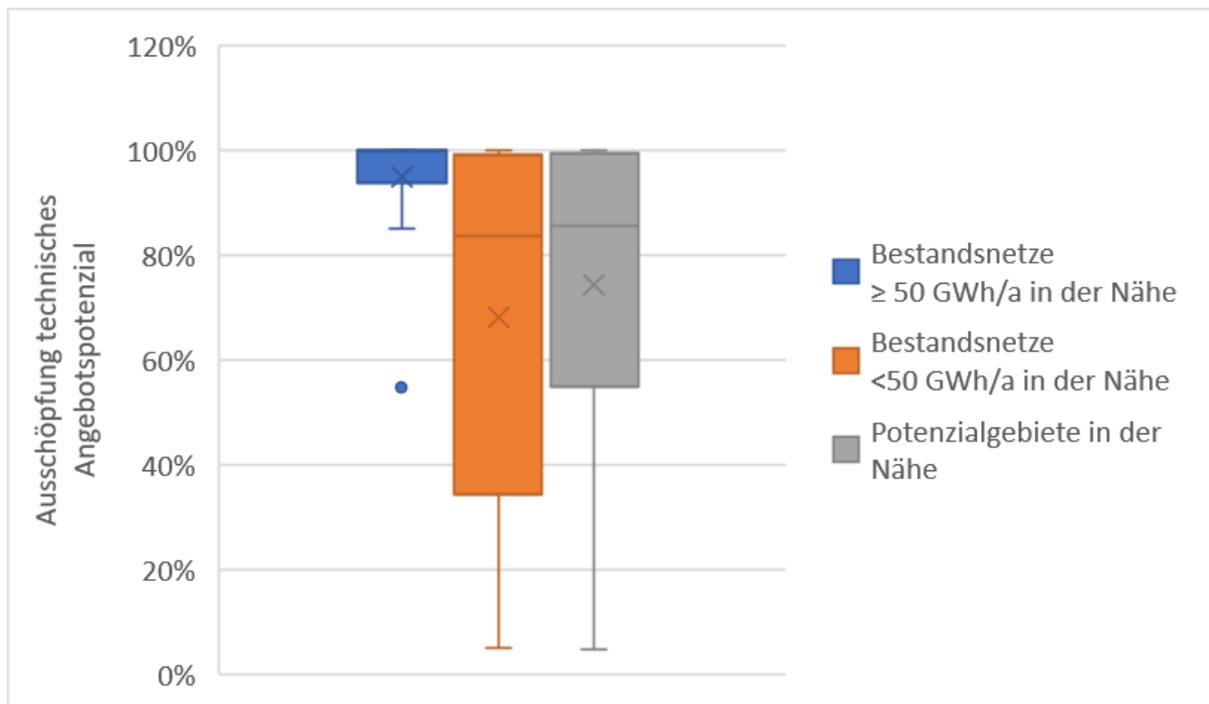


Abbildung 10: Ausschöpfung des technischen Angebotspotenzials (Heizleistung einer Wärmepumpe) an Kläranlagenstandorten nach dem Abgleich mit den zugeordneten Wärmenetzen. Quelle: ifeu.

2.1.4 Priorisierung von Standorten für die Projektinitiierung

Die Priorisierung der Standorte im GIS-Modell erfolgte separat innerhalb von zwei Kategorien, um eine gewisse Bandbreite abzubilden:

Kategorie 1: Zugeordnetes Wärmenetz mit Endenergiebedarf Wärme ≥ 50 GWh/a und > 1 MW/km Kapazität Transportdistanz,

Kategorie 2: Zugeordnetes Wärmenetz mit Endenergiebedarf Wärme < 50 GWh/a und / oder zugeordnetes Potenzialcluster und > 1 MW/km Kapazität Transportdistanz.

Innerhalb dieser Kategorien wurden in Abstimmung mit den Arbeiten in AP II vier Kennwerte für jeden Kläranlagenstandort berechnet, auf den Wertebereich 0-1 normalisiert und unter Berücksichtigung einer individuellen Gewichtung zu einer Gesamtpunktzahl summiert. Positiv bewertet wurden eine niedrige Entfernung als Indikator für die praktische Erschließbarkeit, ein hoher Grad der Ausschöpfung des Angebotspotenzials (allerdings niedriger gewichtet, da auch eine Teil-Ausschöpfung technisch-wirtschaftlich optimal ausgelegt werden kann), eine hohe Belegungsichte der Transportdistanz als Indikator für die Wirtschaftlichkeit und die absolute Höhe der nutzbaren Heizleistung einer Wärmepumpe am Auslauf der Kläranlage, als Indikator für die praktische Erschließbarkeit (Tabelle 6).

Tabelle 6: Berechnete Kennwerte für die Priorisierung der Kläranlagenstandorte.

Nr.	Kennwert	Beschreibung	Gewichtung
1	Entfernung Quelle / Senke [m]	Luftlinie von Kläranlage bis zum nächsten Wärmenetz (Bestand oder potenziell)	30 %
2	Ausschöpfung technisches Angebotspotenzial [%]	Nutzbare Wärmemenge nach Leistungsabgleich mit Wärmesenke in MWh/a dividiert durch maximales Wärmeangebot Wärmepumpe bei 8760 Vbh.	10 %
3	Belegungsdichte Transportdistanz [MWh/(m*a)]	Nutzbare Wärmemenge nach Leistungsabgleich in MWh/a dividiert durch Luftlinie Quelle/Senke in m	30 %
4	maximal nutzbare Heizleistung absolut [MW]	Maximale nutzbare Einspeisekapazität in MW	30 %

Durch gewichtetes Aufsummieren der Kennwerte erhielt jeder Kläranlagenstandort eine Gesamtpunktzahl im Wertebereich zwischen 0 (niedrig priorisiert) und 1 (hoch priorisiert). Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass das Punktesystem nur zur Priorisierung der Standorte relativ zueinander dient und sich nicht für eine absolute Bewertung der technisch-wirtschaftlichen Potenziale an einzelnen Standorten eignet. **Standorte mit niedrigen Gesamtpunkten können trotzdem ein hohes Nutzungspotenzial aufweisen**, nur liegen sie in der Bewertung durch die Normalisierung der Werte auf 0-1, teilweise signifikant, hinter anderen Standorten.

Nach diesem Verfahren wurden in Abstimmung mit dem Beirat sechs Standorte der Kategorie 1 und 14 Standorte der Kategorie 2 ausgewählt. Bereits bestehende Praxisprojekte, die nach der Modellauswertung hoch priorisiert wurden, aber bereits im Rahmen von AP II untersucht wurden (z.B. Tübingen), wurden ausgeschlossen. Für die ausgewählten 20 Standorte wurden folgende Datenpunkte noch einmal detaillierter durch eine manuelle GIS-Analyse und eine Internetrecherche, soweit verfügbar, nachgefasst:

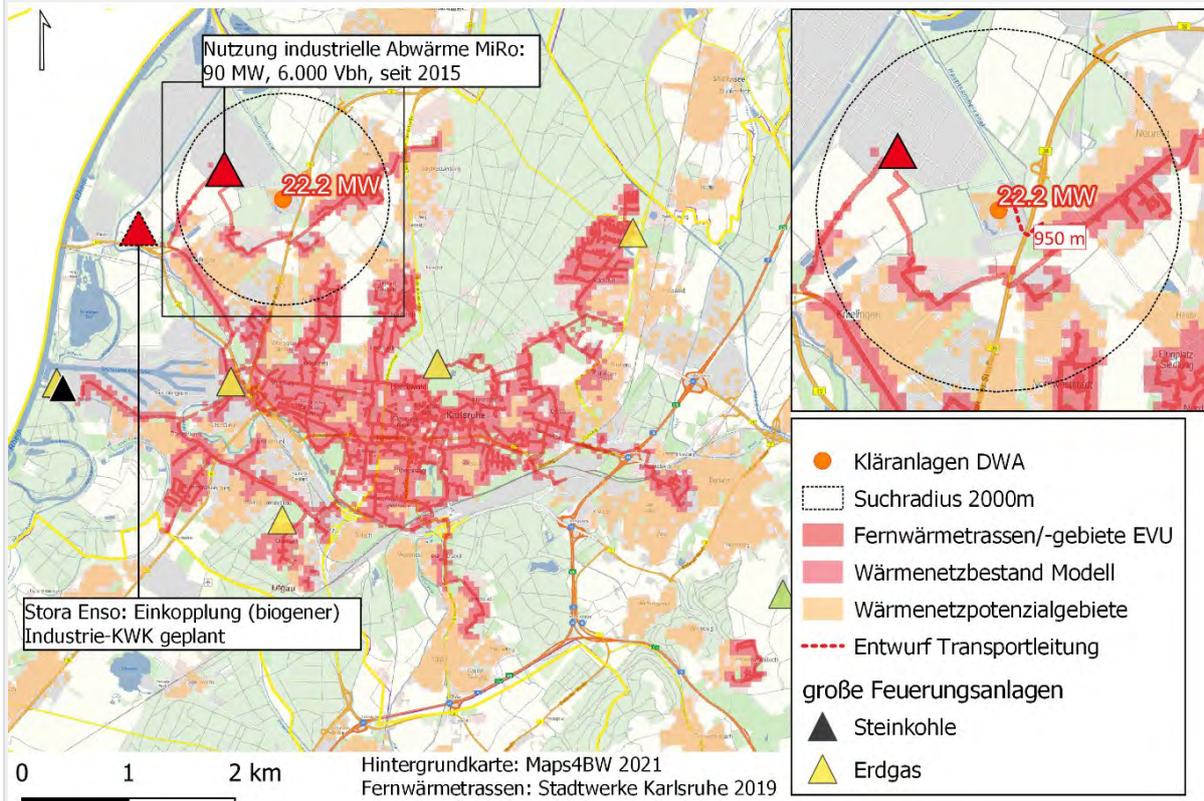
- Lagepläne ggf. vorhandener Wärmenetze,
- Genauere Bewertung einer möglichen Transporttrasse unter Berücksichtigung der Topographie (Zeichnen einer Transportleitung als Liniengeometrie im GIS),
- Wenn ein Bestandsnetz in der Nähe, Überprüfung / Ergänzung der Wärmenetzdaten über Internetrecherche:
 - Wärmenetzbetreiber,
 - Netzlänge in km,
 - Wärmeabsatz oder Wärmenetzeinspeisung in GWh/a,
 - Anschlussleistung in MW,
 - Spitzenlast in MW,
 - Angaben zu Kundenprofilen (Haushalte, Gewerbe, Industrie, Größenklassen),
 - Betriebstemperaturen der Netze in °C,
 - Erzeugungsstruktur (andere Wärmeerzeuger, darunter v.a. Abwärmequellen wie Müllverbrennungsanlagen) mit Angaben zur Einspeiseleistung in MW, Einspeisemenge in GWh/a, Entwicklungsperspektive,
- Wenn kein Netz vorhanden, Zusammenstellung zusätzlicher Bewertungskriterien für die praktische Erschließbarkeit des Potenzials:
 - Sind Ankerkunden (große Gebäude, vor allem im Eigentum der öffentlichen Hand, wie Schulen, Bäder, Krankenhäuser, Verwaltungsgebäude) in <2000 m Entfernung vorhanden?
 - Gibt es ein Stadtwerk oder sonstigen Energieversorger in der Stadt?
 - Ist die Abgrenzung des Potenzialclusters plausibel?

Die Ergebnisse der Nacherhebung flossen anschließend in die Auswahl von sieben finalen Standorten durch die Projektpartner DWA, ifeu und IBS Ingenieurgesellschaft für die Projektinitiierung im Rahmen von AP IV ein. Abbildung 11 veranschaulicht die steckbriefartig zusammengestellten Daten aus dem GIS-Modell und den nacherhobenen Datensätzen, die analog für alle priorisierten Standorte zusammengestellt wurden. Für Standorte ohne größere Bestandsnetze wurde zusätzlich die Lage von Ankerkunden kartographisch dargestellt.

Als weitere Kriterien für die finale Standortauswahl über die Modellergebnisse und die nacherhobenen Daten hinaus wurden folgende weitere Kriterien berücksichtigt:

- Abdeckung verschiedener Größenklassen,
- Abdeckung dreier Kategorien, abgestimmt im Beirat:
 - A) Wärmenetz vorhanden,
 - B) Kein Wärmenetz vorhanden, aber Stadtwerk vorhanden,
 - C) Kein Wärmenetz vorhanden,
- bereits vorhandene Interessensbekundungen für die Abwasserwärmenutzung von lokalen Akteuren,
- Informationen der Klimaschutz- und Energieagentur zu laufenden Wärmeplanungsprozessen im Rahmen des Klimaschutzgesetzes des Landes.

Kläranlage Karlsruhe



Beschreibung bestehendes Wärmenetz

Betreiber	Stadtwerke Karlsruhe GmbH
Netzlänge	233 km
Druckstufe	PN 16
TVL / TRL	120 °C (Stadt), 100 °C (WV Nord) / 50 °C
Abnehmer	600 MW Anschlussleistung 2400 Hausübergabestationen
Wärmeabsatz	885 GWh/a
Erzeugungsmix	61 % industrielle Abwärme MiRo (90 MW) 28 % Steinkohle-Heizkraftwerk 11 % Erdgas

Bewertung Nutzungspotenzial Abwärme Auslauf Kläranlage im Bestandsnetz

Bereits etablierte, umfassende Nutzung industrieller Abwärme als Hemmnis. Gegebenenfalls zusätzliche Potenzialgebiete in KA-Neureuth prüfen. Netzverbund Stadtnetz & WV-Nord als zukünftige Maßnahme angedacht.

Abbildung 11: Exemplarische Darstellung der Datenzusammenstellung und Datenauswertung für 20 priorisierte Kläranlagenstandorte in Baden-Württemberg. Quelle: ifeu.

Für die final ausgewählten Standorte ohne vorhandene Wärmenetze (LFKW Büsnau und Kläranlage Blankenloch) wurde zusätzlich eine genauere Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Erschließung der Wärmesenke über Wärmenetze durchgeführt. Dafür wurden die erforderlichen Netzlängen in visuell priorisierten Gebieten für einen Wärmenetzneubau anhand von Straßengeometrien im GIS quantifiziert. Diese wurden zusammen mit den potenziellen Wärmebedarfen aus dem Wärmeatlas zur Bestimmung spezifischer Kapitalkosten der Wärmeverteilung bewertet. Die zentralen Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsbewertung sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsbewertung neuer Wärmenetze.

Parameter	Wert
Spezifische Investitionskosten (netto) Verteilnetz	1.200 € ₂₀₂₀ /m
Förderquote Investitionskosten Verteilnetz	40 %
Abschreibungszeitraum	20 a
Zinssatz	3 %

Aus den Parametern ergaben sich mittlere, trassenbezogene Kapitalkosten für neue Wärmeverteilnetze C_t von 48,40 €/m*a). Im GIS wurde für die Versorgungsgebiete der potenzielle Endenergiebedarf an Fernwärme $Q_{f, fw}$ in MWh/a mit der erforderlichen Länge eines Verteilnetzes L_d in m quantifiziert und zur Kenngröße der mittleren Liniendichte des Wärmeabsatzes ρ_l in MWh/(m*a) verschnitten:

$$(4) \quad \rho_l = \frac{Q_{f, fw}}{L_d}$$

Als Indikator für die Wirtschaftlichkeit neuer Wärmenetze wurden anschließend die energiebezogenen Kapitalkosten der Wärmeverteilung C_d in €/MWh berechnet:

$$(5) \quad C_d = \frac{C_t}{\rho_l}$$

Neben den Kapitalkosten für die Wärmeverteilung sind die Wärmegestehungskosten für die Einspeisung in ein Wärmenetz ein zentraler Kostenpunkt. Diese lagen Stand Q4 2021 nach den durchgeführten Analysen der drei Musteranlagen inkl. der „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze“ (BEW) im Bereich zwischen 45 bis 85 €/MWh, in starker Abhängigkeit der jährlichen Vollbenutzungsstunden der Wärmepumpen (vgl. Abschnitt 3.2.2.1). Unter Berücksichtigung dieser Wärmegestehungskosten und in Anlehnung an (KEA-BW, 2020) wurden bezüglich der Kapitalkosten der Wärmeverteilung C_d Werte unter 40 €/MWh als wirtschaftlich erachtet. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für die betreffenden Standorte LFKW Büsnau und Blankenloch sind in Tabelle 8 dargestellt.

2.2 Ergebnisse

2.2.1 Bewertung der landesweiten Nutzungspotenziale

Von den 491 Kläranlagenstandorten ab der Größenklasse drei aus dem DWA-Leistungsnachweis Baden-Württemberg wiesen 366 Standorte einen mittleren Trockenwetterabfluss von mindestens 15 l/s auf. Von dieser Teilmenge wiesen wiederum 258 Standorte nach dem Leistungsabgleich mit den Wärmesenken eine minimale Auslegungskapazität einer Transportleitung (Luftlinie) von 1 MW/km auf und können damit ein technisch-wirtschaftlich nutzbares Potenzial bereitstellen.

Im Ergebnis kann im Stichjahr 2030 an 18 Kläranlagenstandorten der Kategorie 1, mit bestehendem Wärmenetz ≥ 50 GWh/a eine Einspeisekapazität von Wärmepumpen von in Summe 168 MW_{th} und eine Einspeisemenge von 1.350 GWh/a erschlossen werden. An weiteren 240 Kläranlagenstandorten der Kategorie 2, mit bestehendem Wärmenetz < 50 GWh/a und / oder Potenzialgebieten in der Nähe können darüber hinaus 369 MW_{th} bzw. 2.394 GWh/a erschlossen werden. **In Summe beläuft sich das technisch-wirtschaftlich nutzbare Potenzial von Wärmepumpen am Auslauf von Kläranlagen in Baden-Württemberg im Stichjahr 2030 auf eine Einspeisekapazität von 537 MW_{th} und eine Einspeisemenge von bis zu 3.744 GWh/a. Dies entspricht rund 11 % der im Modell abgebildeten Wärmenetzeinspeisung zur Versorgung von Gebäuden mit Raumwärme und Trinkwarmwasser und 4,3 % des Nutzwärmebedarfs von Gebäuden in einem Referenz-Szenario energetischer Sanierung im Stichjahr 2030.**

Bei der Verteilung des Potenzials auf verschiedene Leistungsklassen zeigt sich als Hinweis auf die räumliche Verfügbarkeit der Wärmequellen die Bedeutung eher kleinerer Anlagen bis 2 MW Heizleistung, die knapp drei Viertel der Kläranlagenstandorte und ein Drittel der ermittelten nutzbaren Einspeisekapazität repräsentieren. Heizleistungen > 10 MW stehen an sechs Standorten zur Verfügung (Abbildung 12).

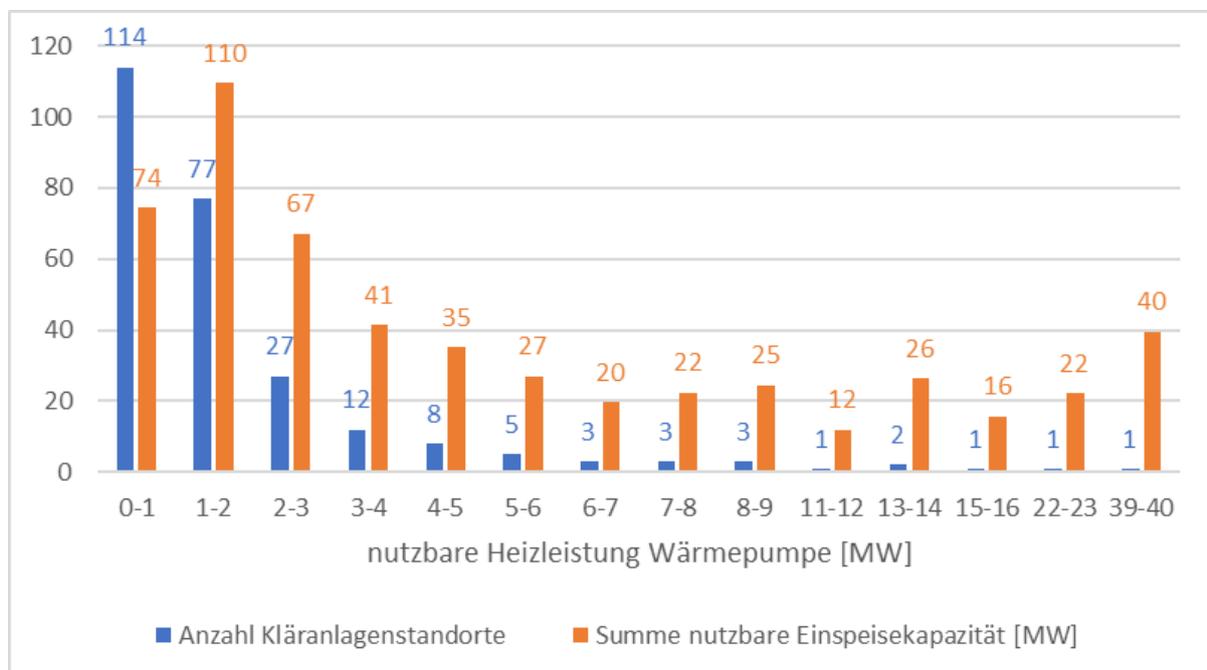


Abbildung 12: Verteilung des technisch-wirtschaftlich nutzbaren Potenzials auf Leistungsklassen.

Die Entfernungsanalyse zeigt, dass rund 75 % der als technisch-wirtschaftlich nutzbar eingestufteten Einspeisekapazität von Wärmepumpen am Auslauf von Kläranlagen in unter einem Kilometer Entfernung zu den nächsten potenziellen Wärmesenken liegen (Abbildung 13).

Bei der Interpretation der Ergebnisse gilt es zu beachten, dass die praktische Erschließbarkeit der dargestellten Potenziale neben der Förderung der Wirtschaftlichkeit von Großwärmepumpen als Wärmeerzeuger in Wärmenetzen stark von einem von staatlicher Seite forcierten Wärmenetzausbau und einer kommunalen Wärmeplanung als lokales Kommunikations- und Steuerungsinstrument abhängig ist. Ein Großteil der in der Untersuchung ermittelten Wärmesenkenpotenziale für eine Abwasserwärmenutzung aus dem Auslauf von Kläranlagen liegt in Gebieten ohne heute bestehende Wärmenetzinfrastrukturen, die in der kommenden Dekade ambitioniert erschlossen werden müssen.

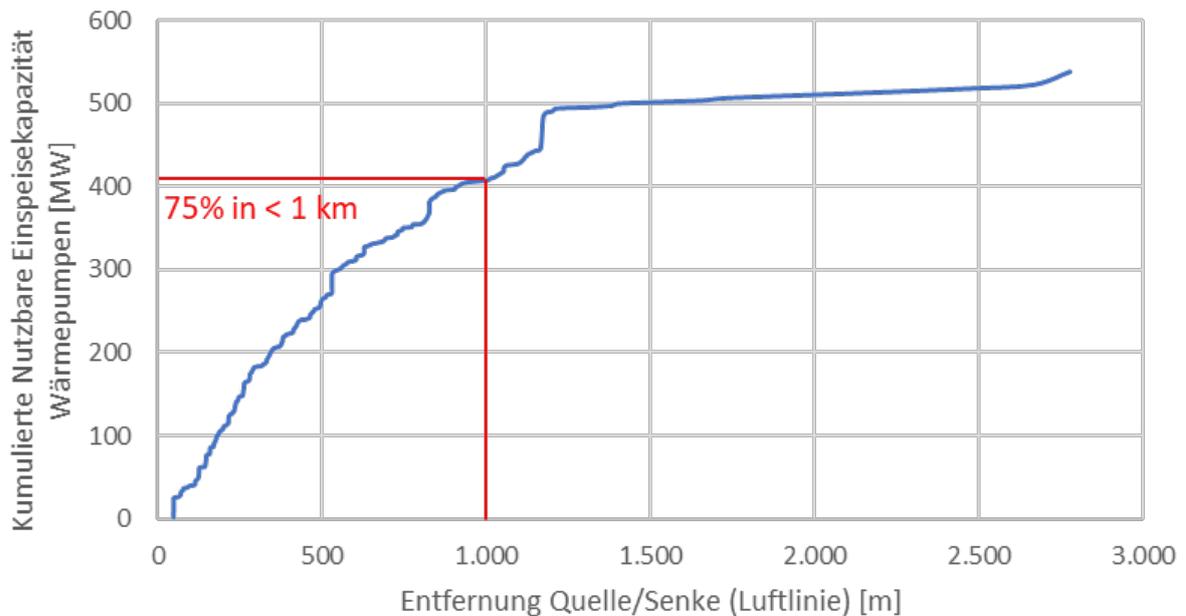


Abbildung 13: Entfernungspotenzialkurve.

2.2.2 Auswahl Standorte zur Projektinitiierung

Nach dem in Abschnitt 2.1.4 beschriebenen Verfahren wurden 20 Kläranlagen aus dem GIS-Modell und anhand der zusätzlich berücksichtigten Kriterien priorisiert. Von diesen Standorten wurden sieben für die Projektinitiierung ausgewählt. Die Ergebnisse sind nachfolgend in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Auswahl der Kläranlagenstandorte für die Projektinitiierung.

Kläranlage (Gemeinde, falls abweichend)	Größenklasse	Potenzielle Heizleistung Wärmepumpe in MW	Kategorie Wärmesenke A) Wärmenetz vorhanden B) kein Wärmenetz aber Stadtwerk vorhanden C) kein Wärmenetz, kein Stadtwerk vorhanden	Wärmenetze in der Nähe vorhan- den	Wirtschaftlich- keitsbewertung neuer Wärme- netze	Stadtwerke vorhanden	Interessens- bekundung vorhanden	Auswahl für Projektan- bahnung
KW 1 Sindelfin- gen	5	7,3	A	großes Städtnetz ≥ 50 GWh/a		ja	ja	ja
Pfullingen	4	4,8	A	großes Städtnetz Reutlingen ≥ 50 GWh/a		ja		ja
Aalen	4	3,9	A	< 50 GWh/a		ja	ja	ja
Unterkochen	3	1,3	B	nein		ja	ja	ja
Zipfelbachtal (Winnenden)	4	0,8	A	Städtnetz im Grenzbereich 50 GWh/a		ja		ja
Blankenloch	4	0,5	C	nein	C_d 30 €/(MWh*a): positiv	nein	ja	ja
LFKW Büsnau (Stuttgart)	3	0,5	B	nein	C_d 30 €/(MWh*a): positiv	ja		ja
Mühlhausen (Stuttgart)	5	39,5	A	großes Städtnetz ≥ 50 GWh/a		ja	ja	nein
Karlsruhe-Neu- reut	5	22,2	A	großes Städtnetz ≥ 50 GWh/a		ja		nein
Heilbronn	5	13,2	A	großes Industrienetz ≥ 50 GWh/a, sieben Wärmenetze à 3-19 GWh/a in Neckarsulm		ja		nein
Heidelberg	5	13,1	A	großes Städtnetz ≥ 50 GWh/a		ja		nein
Reutlingen	5	8	A	großes Städtnetz ≥ 50 GWh/a		ja	ja	nein
Konstanz	5	8	A	< 50 GWh/a		ja	ja	nein

Kläranlage (Gemeinde, falls abweichend)	Größenklasse	Potenzielle Heizleistung Wärmepumpe in MW	Kategorie Wärmesenke A) Wärmenetz vorhanden B) kein Wärmenetz aber Stadtwerk vorhanden C) kein Wärmenetz, kein Stadtwerk vorhanden	Wärmenetze in der Nähe vorhan- den	Wirtschaftlich- keitsbewertung neuer Wärme- netze	Stadtwerke vorhanden	Interessens- bekundung vorhanden	Auswahl für Projektan- bahnung
Metzingen	5	7,7	A	kleines		ja		nein
Ditzingen	5	3,3	A	< 50 GWh/a		ja		nein
Leutkirch	4	3,3	A	< 50 GWh/a		nein		nein
Calmbach (Bad Wildbad)	4	2,3	B	Nein		ja		nein
Furtwangen	4	1,5	A	< 50 GWh/a		nein		nein
Eglosheim (Ludwigsburg)	4	1,3	A	drei Wärmenetze in Eglosheim < 50 GWh/a		ja		nein
Angelbachtal	3	1,3	B	nein		ja (Sins- heim)		nein

3 Technisch-ökonomische Betrachtung

3.1 Grundlagen

3.1.1 Funktionsprinzip Wärmepumpe

Wärmepumpen funktionieren prinzipiell gleich wie Kältemaschinen oder Kühlschränke. Einem Medium wird Energie auf niedrigem Temperaturniveau entzogen und durch Einsatz von Antriebsenergie (i.d.R. elektrischer Strom) das Temperaturniveau der entzogenen Energie so angehoben, dass diese an ein Medium auf höherer Temperatur abgegeben werden kann. Der grundsätzliche Unterschied besteht lediglich darin, dass bei der Kältemaschine die entzogene Energie (Kälteerzeugung) und bei der Wärmepumpe die abgegebene Energie (Heizwärme) als Nutzenergie betrachtet wird. In beiden Fällen ist die Antriebsenergie die Energie, die für den Prozess aufgewendet werden muss. Ein größerer Teil der Heizwärme kommt aus der Wärmequelle, der kleinere Teil von der Antriebsenergie der Wärmepumpe (vgl. Abbildung 14).

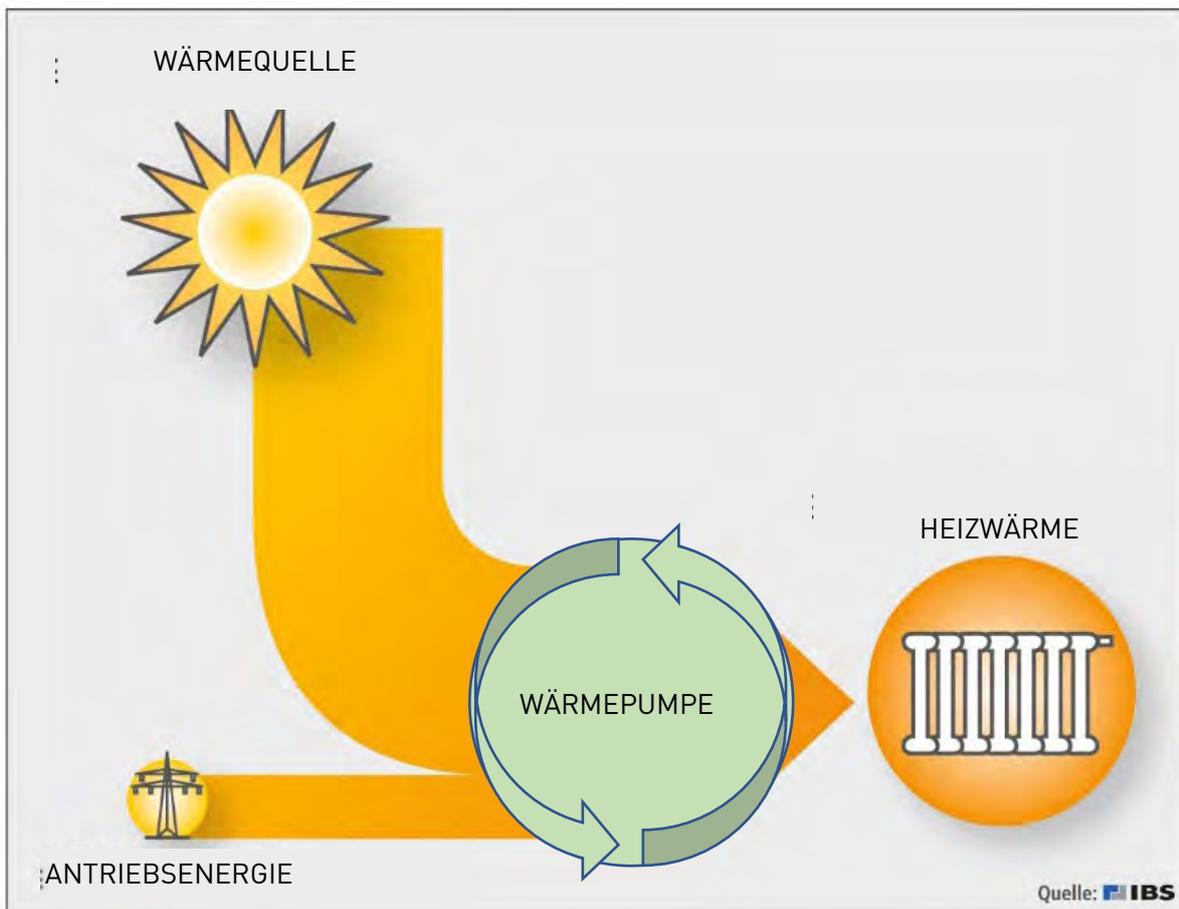


Abbildung 14: Das Wärmepumpenprinzip. Quelle: IBS.

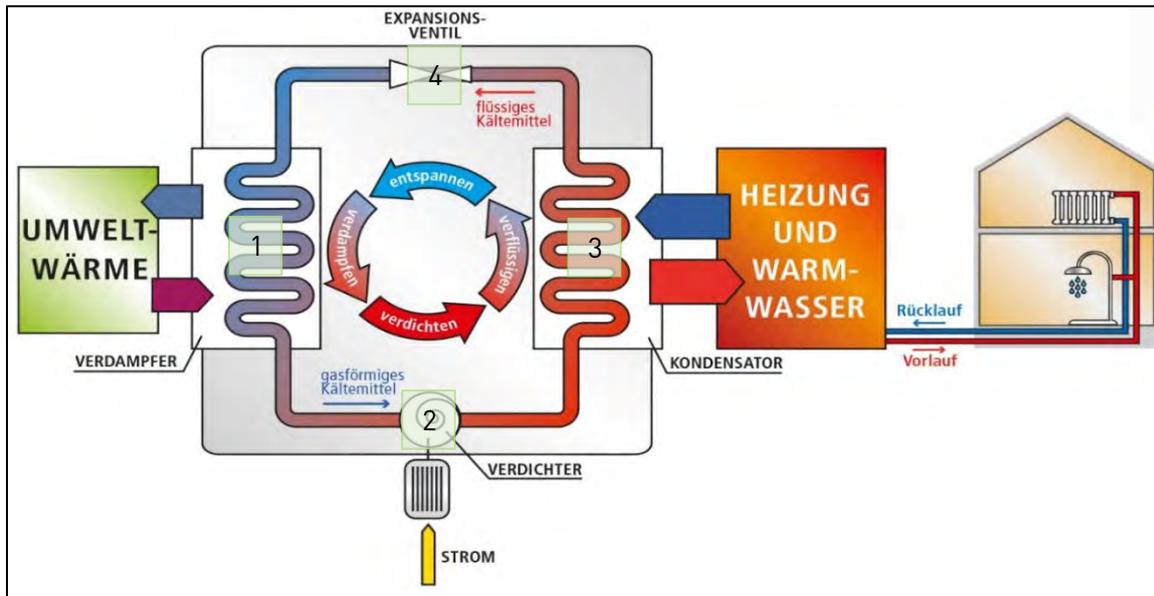


Abbildung 15: Der Wärmepumpen-Kreislaufprozess. Quelle: IBS.

Der Wärmepumpenprozess besteht aus einem Niederdruck- sowie Hochdruckbereich und lässt sich entsprechend seiner Hauptkomponenten in vier Schritte aufgliedern (in Abbildung 15: links beginnend gegen den Uhrzeigersinn):

1. Verdampfen

Durch Wärmezufuhr aus der Quelle wird das Kältemittel im Verdampfer (Wärmetauscher) auf niedrigem Druck- und Temperaturniveau verdampft.

2. Verdichten

Aus dem Verdampfer saugt der Verdichter das dampfförmige Kältemittel an und bringt es durch die Kompression auf ein höheres Druck- und Temperaturniveau. Die elektrische Antriebsenergie erhöht den Energieinhalt des Kältemittels um diesen Betrag.

3. Verflüssigen

Im Verflüssiger, auch als Kondensator bezeichnet (Wärmetauscher), wird dem Kältemittel durch das Heizmedium (Heiz- und Warmwasser) Wärme entzogen, so dass es sich bei annähernd gleichbleibender Temperatur verflüssigt. Die dabei freiwerdende Kondensationswärme wird an das Heizmedium übertragen und erhöht dadurch die Temperatur des Heizmediums von der Heizungs-rücklauftemperatur auf die notwendige Heizungs-vorlauftemperatur. Die an das Heizmedium abgegebene Wärmemenge entspricht der im Verdampfer zugeführten Verdampfungswärme zuzüglich der dem Verdichter zugeführten Antriebsenergie.

4. Entspannen

Der Kreislauf schließt sich mit dem Expansionsventil. Hier wird das aus dem Verflüssiger kommende Kältemittel auf das Niederdruckniveau des Verdampfers entspannt. Durch die Expansion kühlt sich das Kältemittel ab und gelangt so auf niedrigem Druck- und Temperaturniveau in verflüssigter Form in den Verdampfer, wo es dann erneut verdampft wird. Der Kreislauf ist geschlossen.

3.1.2 Wärmequellen, Antriebsenergie und Wärmeverbraucher

Als Wärmequellen können dienen:

- Sonnenenergie über Solarabsorber
- Außenluft
- Wasser (Fluss- / Seewasser)
- Erdreich (Erdkollektoren, Erdsonden)
- Abwärme (Abluft, Abgase etc.)
- Abwasser (Kläranlage, Abwasserkanäle)

Die elektrische Antriebsenergie kann geliefert werden von:

- dem öffentlichen Stromnetz
- Photovoltaikanlagen
- Blockheizkraftwerken

Die Wärmepumpe kann eingesetzt werden zur:

- Wärmeversorgung von Einzelgebäuden wie Ein- und Mehrfamilienhäusern
- Wärmeversorgung von kleineren Wärmenetzen, z. B. in Neubaugebieten
- Wärmeeinspeisung in größere, städtische Wärmenetze

Die nachfolgende Abbildung 16 gibt einen schematischen Überblick über Wärmequellen, Antriebsenergien und Wärmeverbraucher. Bei den Wärmeverbrauchern kann in Bestandsgebäude mit geringem und Neubauten mit gutem bis sehr gutem Wärmeschutz unterschieden werden. Davon hängt ab, auf welchem Temperaturniveau die Heizwärme bereitgestellt werden muss. Grundsätzlich gilt, je niedriger die erforderliche Heiztemperatur und je höher die Temperatur der Wärmequelle, umso weniger Antriebsenergie muss aufgewendet werden, um die Wärme von der kalten auf die warme Seite zu „pumpen“.

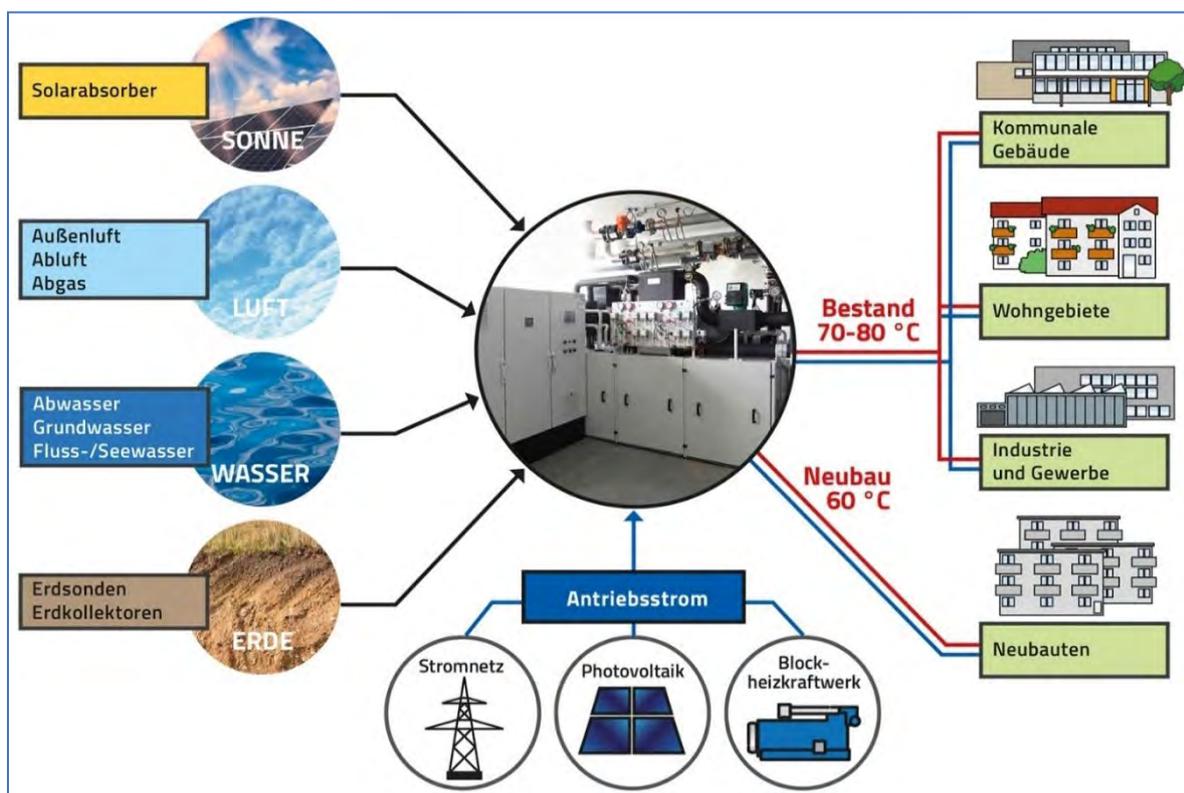


Abbildung 16: Wärmequellen, Antriebsenergien und Wärmeverbraucher. Quelle: IBS.

3.1.3 Wärmequelle Abwasser

Die Wärmequelle Abwasser kann auf zwei Wegen erschlossen werden:

1. Im Abwasserkanal

In diesem Fall werden Rinnenwärmetauscher in bestehende oder neue Abwasserkanäle mit ausreichendem Querschnitt, Gefälle und entsprechender Abwassermenge eingebaut. Das Abwasser fließt frei über den am Kanalboden eingebauten Wärmetauscher und gibt dabei Wärme an das kältere Zwischenmedium Wasser-Glykol-Gemisch ab. Das erwärmte Zwischenmedium gelangt über ungedämmte Medienleitungen zum Verdampfer der Wärmepumpe. Das nutzbare Wärmepotenzial des Abwassers hängt von der im Kanal bei Trockenwetter fließende Abwassermenge und der Abwassertemperatur ab. Die Mindestabwassermenge sollte im Tagesmittel bei Trockenwetter über 15 l/s liegen. Die Abwassertemperaturen liegen typischerweise zwischen 8 °C und 12 °C in den Wintermonaten. Der Kanal muss bei einem nachträglichen Einbau der Wärmetauscher einen Mindestdurchmesser von 800 mm aufweisen. Das Prinzip ist in Abbildung 17, beispielhafte Einbauten sind in Abbildung 18 dargestellt.

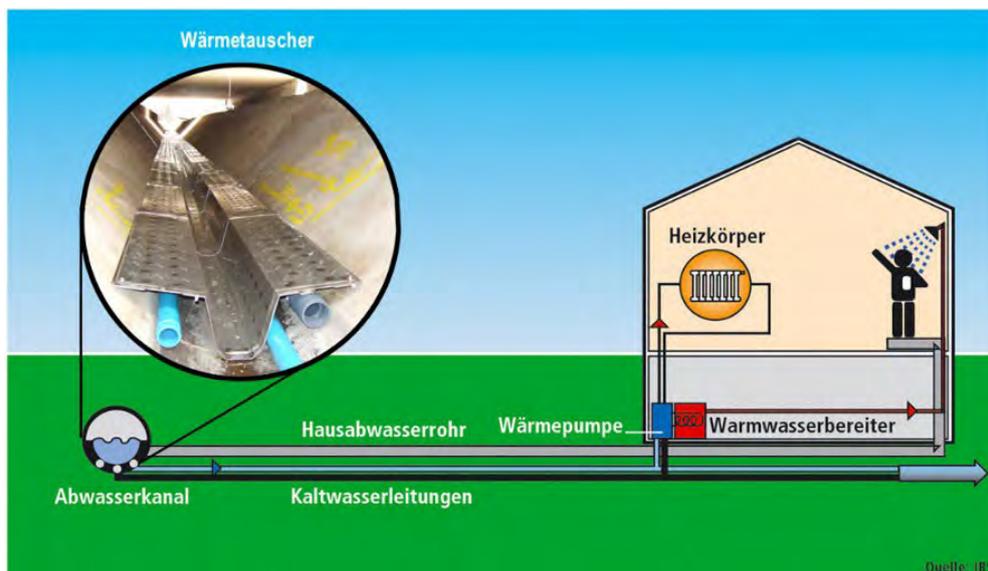


Abbildung 17: Prinzip der Abwasserwärmenutzung mit Wärmetauscher im Abwasserkanal.
Quelle: IBS.



Abbildung 18: Foto links: Einbau Wärmetauscher in kleineren bestehenden Rundkanal.
Foto rechts: Einbau Wärmetauscher in einen größeren Rechteckkanal im Zuge des Kanalneubaus. Quelle: IBS.

2. Auf der Kläranlage

Als Wärmequelle wird das geklärte Abwasser genutzt. Die Kläranlage hat gegenüber dem Abwasserkanal eine Reihe von Vorteilen:

- Die zur Verfügung stehende Abwassermenge und damit das Wärmepotenzial ist höher als in einem einzelnen Abwasserkanal.
- Die Abwassertemperatur unterliegt geringeren Schwankungen.
- Die Verschmutzungsgefahr der Wärmetauscher ist geringer, da sie nur mit gereinigtem Abwasser in Berührung kommen.

Ein Nachteil kann sein:

- von der Kläranlage müssen längere Wärmeleitungen bis zu einem möglichen Wärme-Ein-
speisepunkt verlegt werden, da Kläranlagen meist entfernt von größeren Wärmeverbrau-
chern oder Wärmenetzen liegen.

In den meisten Fällen stehen am Auslauf der Kläranlage ganzjährig Abwassertemperaturen $> 8\text{ °C}$ zur Verfügung. Die Auslegung der Wärmequelle erfolgt üblicherweise auf eine Abkühlung des Abwassers um 3 K bis 5 K. Bei höheren Abwassertemperaturen können auch größere Spreizungen realisiert werden. Limitierender Faktor ist die minimale Austrittstemperatur aus dem Wärmetauscher von 4 °C , die nicht unterschritten werden darf, da ansonsten die Gefahr des lokalen Einfrierens von Abwasser besteht.

Wärmetauscher im Gerinne oder Vorfluter

Der Wärmetauscher wird direkt in ein Gerinne oder in den Auslauf der Kläranlage (zum Vorfluter) eingesetzt (vgl. Abbildung 19). Er wird vom Abwasser frei umströmt (keine Pumpen notwendig). Bei genügendem Platzangebot kann er auch nachträglich eingebaut werden.

Ablagerungen von Schmutz oder das Festsetzen von Fremdkörpern wirken sich negativ auf die Übertragungsleistung der Wärmetauscher aus. Selbst vollständig geklärtes Wasser kann Ablagerungen (Biofilm) bilden. Aus diesem Grund ist eine regelmäßige Reinigung notwendig. Üblich ist eine automatisierte, mechanische Reinigung. Diese erfolgt über einen Schieber, der die Rohrbündel vom Biofilm befreit.



Abbildung 19: Wärmetauscher im Gerinne zum Vorfluter. Quelle: Huber.

Externe Wärmetauscher

Extern aufgestellte Wärmetauscher bieten sich an, wenn die Einbindung in einem Klärbecken oder Vorfluter nicht möglich ist. Dieses System bedarf zusätzlicher Wasserleitungen und Pumpen, kann jedoch aufgrund der modularen Bauweise gut an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Durch die zwangsweise Umwälzung des Abwassers ergeben sich im Vergleich zum frei umströmten Wärmetauscher im Becken klar definierte, in der Regel höhere Strömungsgeschwindigkeiten an der Wärmetauscher-Oberfläche und damit ein definierter, höherer Wärmeübergang. Bei gleicher Wärmeübertragungsleistung kann der Wärmetauscher daher kleiner ausgelegt werden.

Wärmetauscher können entweder in mit Abwasser durchströmten Behältern oder als Rohrbündel-Wärmetauscher ausgeführt werden (vgl. Abbildung 4 und Abbildung 20). Rohrbündelwärmetauscher sind konstruktiv einfach und werden in vielen anderen Anwendungsfällen standardmäßig eingesetzt. Zur Reinigung der Rohrbündel werden spezielle Kugeln durch die Rohre gedrückt.



Abbildung 20: Externer Wärmetauscher im Behälter. Quelle: IBS.

3.1.4 Kennzahlen, Effizienz und Heizleistung

Die Effizienz einer Wärmepumpe ist durch den „COP“ (Coefficient of Performance) gekennzeichnet. Der COP stellt das Verhältnis von Nutzenergie (Wärmeabgabe) zur aufgewendeten Antriebsenergie dar. Ein COP von 3 bedeutet, dass die Nutzwärmeabgabe zu 2/3 aus der Wärmequelle und zu 1/3 aus Antriebsenergie (Strom) kommt. Je größer der Wert des COP, desto besser die Effizienz.

Der COP des idealen, d. h. verlustfreien, Wärmepumpenprozesses hängt allein von dem Verhältnis von Wärmequellen- zu Heiztemperatur ab. Dieser theoretische Wert, der auch als Carnot-Wirkungsgrad bezeichnet wird, stellt den Wert dar, der nicht überschritten werden kann. Der COP realer Wärmepumpenprozesse ist aufgrund von Verlusten und Abweichungen vom Idealprozess etwa nur halb so groß. Das Verhältnis von realem zu idealem wird als „Gütegrad“ bezeichnet.

Die Effizienz einer Wärmepumpe hängt also wesentlich vom Temperaturniveau der Wärmequelle sowie der benötigten Heizungsvorlauftemperatur ab. Je größer dieser Temperaturunterschied ausfällt, umso mehr Energie muss aufgewendet werden, um die der Quelle entzogene Wärme auf das für Heizzwecke nutzbare Temperaturniveau zu „pumpen“. Die Angabe eines COP ist somit immer an die Angabe von Wärmequellen- und Heiztemperatur gebunden.

In Abbildung 21 ist der COP einer beispielhaften Wärmepumpe in Abhängigkeit Heizungsvorlauftemperatur T_{VL} bei verschiedenen Quellentemperaturen T_{Quelle} dargestellt. Der COP erreicht bei typischen Heizungsvorlauf- und Quellentemperaturen Werte zwischen 2,0 bis 4,0.

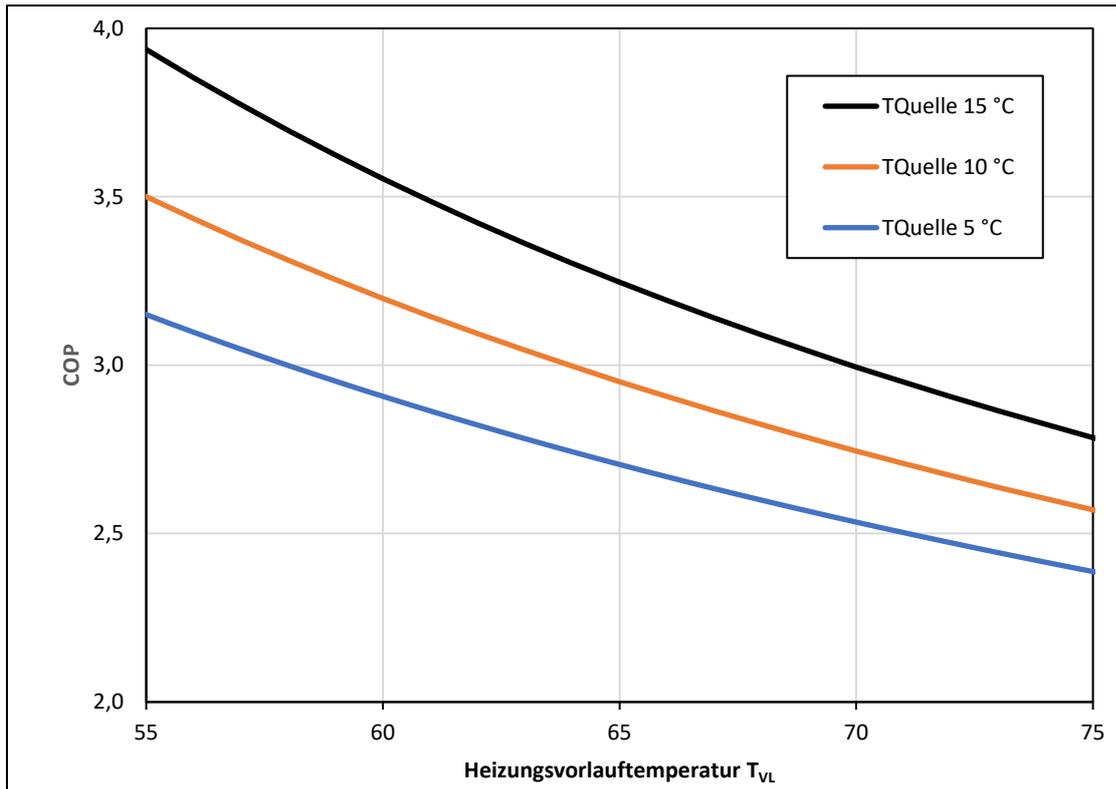


Abbildung 21: COP einer Wärmepumpe in Abhängigkeit der Heizungsvorlauf- und Wärmequellentemperatur.

Für einen effizienten Wärmepumpenbetrieb ist im Betrieb ein möglichst hoher Volumenstrom sowohl auf der Quellenseite als auch auf der Senkenseite erforderlich. Große Spreizungen zwischen Ein- und Austrittstemperaturen können nur erreicht werden, wenn die Temperaturdifferenz zwischen dem Quellenkreislauf und dem Kältemittelkreislauf erhöht wird. Daraus resultieren niedrige Kältemitteltemperaturen, was sich negativ auf die die Effizienz des Gesamtsystems auswirkt. Um eine hohe Effizienz zu erreichen arbeiten viele Wärmepumpen mit einer geringeren quellenseitigen Spreizung von 4 K. Ist eine größere Spreizung gewünscht, um mehr Potenzial aus der Quelle zu nutzen, so kann dies durch die Reihenschaltung mehrerer Wärmepumpen erreicht werden. Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung des quellenseitigen Volumenstroms ist die Anpassung der hydraulischen Einbindung.

Die Wärmeentzugsleistung W_{ABW} errechnet sich aus der Abkühlung der Abwassermenge nach der Beziehung, welche in Formel (1) in Abschnitt 2.1.1 dargestellt ist. Die Heizleistung der Wärmepumpe P_{WP} zu einem spezifischen Betriebspunkt kann darauf aufbauend aus der Wärmeentzugsleistung W_{ABW} und dem jeweiligen COP berechnet werden (6):

$$(6) \quad P_{WP} = W_{ABW} * \left(\frac{COP}{COP - 1} \right)$$

mit:

P_{WP}	[kW]	Heizleistung Wärmepumpe,
W_{ABW}	[kW]	Wärmeentzugsleistung Abwasser,
COP	[-]	Coefficient of Performance

Eine zweite Kenngröße des Wärmepumpenprozesses ist die Jahresarbeitszahl (**JAZ**). Im Gegensatz zum COP, der nur für einen bestimmten Betriebspunkt gilt, gibt die Jahresarbeitszahl das Verhältnis aus abgegebener Wärmemenge Q_H zu aufgenommener Antriebsenergie W_{WP} über ein Jahr bei unterschiedlichen Betriebspunkten und unter Berücksichtigung der benötigten Hilfsenergien W_H , wie z. B. Pumpstrom, an (7):

$$(7) \quad JAZ = \frac{Q_H}{W_{WP} + W_H}$$

mit:

JAZ	[-]	Jahresarbeitszahl
Q_H	[kWh/a]	Heizenergie pro Jahr
W_{WP}	[kWh/a]	Antriebsenergie der Wärmepumpe pro Jahr
W_H	[kWh/a]	Hilfsenergie

Für die jährliche Heizenergiemenge gilt (8):

$$(8) \quad Q_H = Q_{ABW} * \frac{JAZ}{JAZ-1}$$

mit:

Q_H	[kWh/a]	Heizenergie pro Jahr
Q_{ABW}	[kWh/a]	Wärmeentzugsmenge pro Jahr
JAZ	[-]	Jahresarbeitszahl

3.1.5 Steigerung der Effizienz durch mehrstufige Anlagen

Die Effizienz einer Wärmepumpe nimmt mit zunehmender Heizungsvorlauftemperatur ab. Dieser Nachteil kann teilweise ausgeglichen werden, indem der Temperaturhub von der Heizungsrücklauf-temperatur auf die Vorlauftemperatur auf mehrere Maschinen verteilt wird. Dabei ist es am effizientesten, die Aufteilung gleichmäßig vorzunehmen – bei einer zweistufigen Anlage also jeweils zur Hälfte.

Dem Vorteil der Effizienzsteigerung steht der höhere technische Aufwand und der höhere Investitionsbedarf gegenüber. Da hohe Vorlauftemperaturen spezielle Hochtemperatur-Wärmepumpen erforderlich machen, kann bei der Mehrstufigkeit die eine Maschine als Standard, die andere als Hochtemperatur ausgeführt werden, was sich wiederum in den Investitionskosten niederschlägt.

Die folgende Abbildung 22 zeigt den COP als Funktion der Heizungsvorlauftemperatur einer einstufigen im Vergleich zu einer zweistufigen Anlage. Der Effekt der Mehrstufigkeit ist umso größer, je höher der Temperaturhub im Heizkreis ist. Er hängt also nicht, wie bei einer einstufigen Anlage, nur von der Heizungsvorlauftemperatur (T_{VL}), sondern auch von der Heizungsrücklauf-temperatur (T_{RL}) ab. Möglichst niedrige Rücklauftemperaturen sind aus Gründen der Effizienz von Wärmenetzen anzustreben.

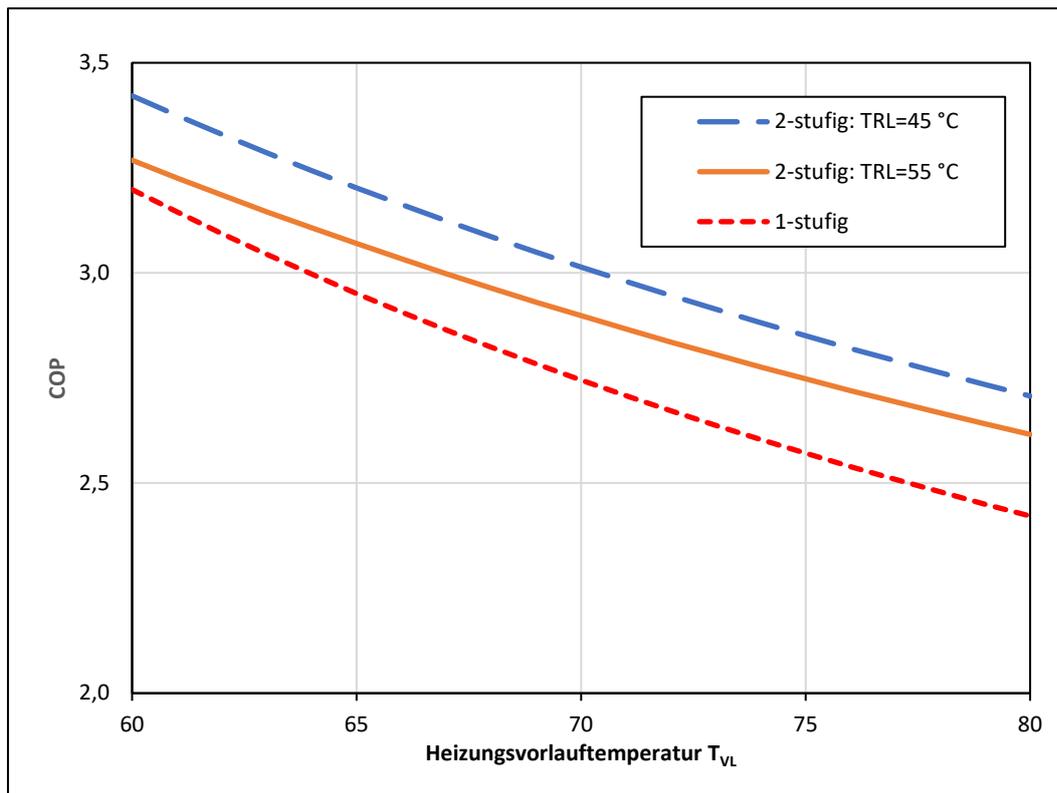


Abbildung 22: COP in Abhängigkeit der Heizungsvorlauftemperatur bei 1-stufiger und 2-stufiger Ausführung und einer Quelltemperatur von $T_a = 10$ °C.

Bei größeren Wärmepumpen kann auch ein höherer technischer Aufwand betrieben werden, um eine effizientere Anlage zu erhalten. Im Bereich der Großwärmepumpen gibt es aktuell bei den Herstellern eine starke Dynamik. Wärmepumpenhersteller erreichen bereits heute auch für hohe Vorlauftemperaturen von 90 °C einen COP von 2,8. Da im Sommer höhere Quelltemperaturen zur Verfügung stehen, kann die Wärmepumpe in diesen Zeiträumen mit höheren COP betrieben werden. Die mittlere JAZ muss im Vergleich zum mittleren COP um den Energiebedarf der Hilfsantriebe reduziert werden. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Effekte in etwa ausgleichen. Für die landesweite Potenzialanalyse wird deshalb von einer mittleren JAZ von 2,8 ausgegangen. Zur Vereinfachung wird dieser Wert bei der Berechnung aller Potenziale einheitlich angesetzt.

3.2 Untersuchung von drei beispielhaften Kläranlagenkonzepten und deren techno-ökonomische Betrachtung

Im Rahmen verschiedener Untersuchungen wurden die Kläranlagen an den Standorten Tübingen, Weinstadt und Altensteig näher betrachtet. In Abstimmung mit den Stadtwerken vor Ort wurden verschiedene Konzepte zur Nutzung der Abwasserwärme entwickelt. Die verschiedenen technischen Konzepte unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen vor Ort werden im Folgenden beschrieben. Im Anhang befinden sich Steckbriefe zu den einzelnen Anlagen mit den wichtigsten Daten.

Die Anlagen zur Wärmeerzeugung beinhalten alle einen Warmwasserspeicher. Dieser ist erforderlich, damit die Wärmeerzeugung von dem Lastgang der Abnehmer entkoppelt wird. Der Wärmespeicher gewährleistet eine stetige Wärmeerzeugung und erhöht den Deckungsanteil der Wärmepumpen im Wärmenetz, da Bedarfsspitzen aus dem Wärmespeicher bedient werden können.

Der Wärmespeicher wurde in der Planung heizungsseitig zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung (Netzpumpen und Wärmenetz) eingebunden.

Zur Umsetzung der Konzepte wurden die Kosten ermittelt und unter den zum Zeitpunkt der Untersuchungen geltenden Betriebsparametern untersucht, zu welchen Preisen die Wärme aus Abwasser erzeugt und in ein Wärmenetz eingespeist werden kann.

Bei den drei untersuchten Referenzanlagen wurden jeweils Wärmepumpen-Anlagen unterschiedlicher Größenordnungen gewählt.

3.2.1 Tübingen

Beim dargestellten Projekt in Tübingen handelt es sich um eine Kläranlage, die bereits an ein Wärmenetz angeschlossen ist. In unmittelbarer Nähe befinden sich weitere große Wärmenetze, die in Zukunft weiter ausgebaut werden sollen. Es wurde ermittelt, welches Energiepotenzial im Abwasser steckt und wie viel davon genutzt werden kann. Anhand des geplanten Netzausbaus und dem Ziel der Stadtwerke, bis 2030 einen Anteil von 70 % des Wärmebedarfs erneuerbar zu decken, ergaben sich die dargestellten Ausbaustufen (vgl. Tabelle 9). Ein Luftbild der Kläranlage ist in Abbildung 23 dargestellt. Das Betriebsgebäude mit der Strom- und Wärmeerzeugung beinhaltet die bereits vorhandenen Wärmeerzeuger (BHKW und Kesselanlagen).

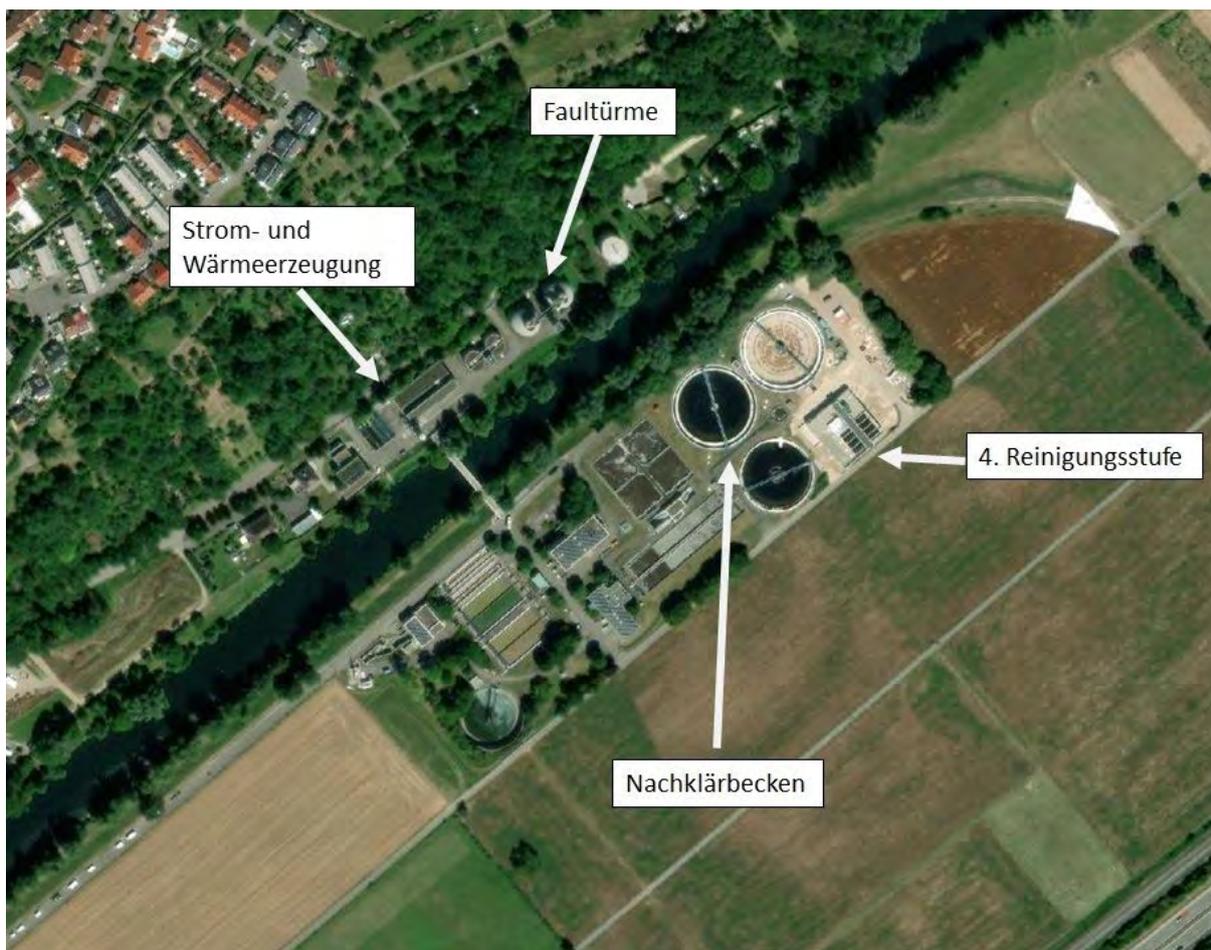


Abbildung 23: Luftbild Kläranlage Tübingen. Bildquelle: esri / ArcGIS.

3.2.1.1 Abwasserwerte Tübingen

Die Messdaten des Abwassers wurden für das Jahr 2019 ausgewertet. Bei der Darstellung in Abbildung 24 handelt es sich um den Volumenstrom des Abwassers (in blau), bezogen auf die linke y-Achsenkalierung sowie die Abwassertemperatur (in orange) bezogen auf die rechte y-Achsenkalierung. Es sind die Stundenwerte der Messwerte dargestellt. Im Jahr 2019 betrug der verfügbare Abfluss bei Trockenwetter im Mittel ca. 1.000 m³/h (280 l/s). Die Abwassertemperatur lag während der Heizperiode zwischen 9 °C und 13 °C. Ein Unterschreiten der Abwassertemperatur unter 10 °C kann nur zu wenigen Zeiten im Jahr beobachtet werden, wenn im Winter große Mengen an Fremdwasser auftreten. Für den Standort Tübingen wurde deshalb davon ausgegangen, dass eine Abkühlung um 5 K ganzjährig möglich ist. Für den Zeitraum von Oktober 2019 bis Januar 2020 lagen keine genauen Stundenwerte der Temperaturmessung vor. Der Temperaturverlauf wird deshalb linear über die zur Verfügung stehenden Messwerte dargestellt.

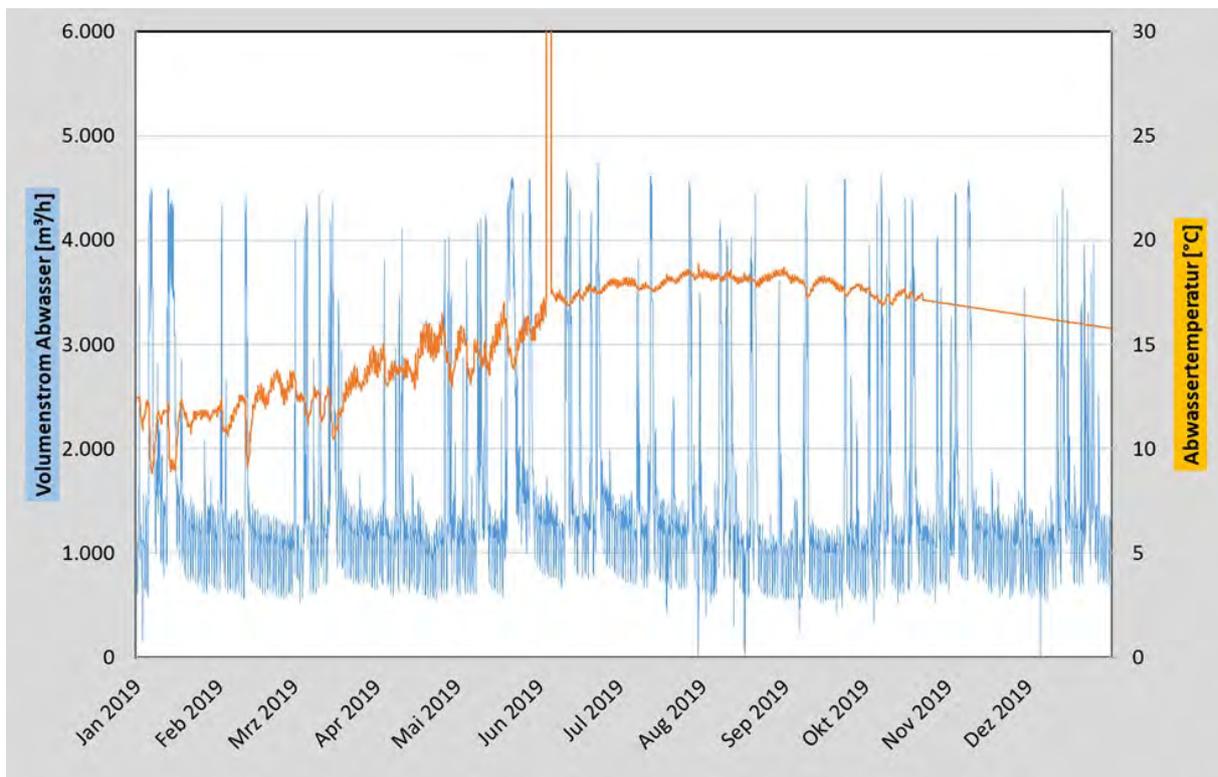


Abbildung 24: Verlauf Abwasservolumenstrom und -temperatur über das Jahr am Standort Tübingen.

Bei einer Abkühlung des Volumenstroms von 1.000 m³/h (280 l/s) um eine Temperaturdifferenz von 5 K ergibt sich eine mögliche Wärmeentzugleistung in Höhe von 5,8 MW_{th}. Mit einer mehrstufigen Großwärmepumpe dieser Größenordnung kann eine Jahresarbeitszahl von rund 2,8 erreicht werden. Damit beträgt die Heizleistung der Wärmepumpe 9 MW_{th}. Über eine Laufzeit von 7.000 h/a können im Jahr mit der Anlage 63.000 MWh an Wärme in das Wärmenetz eingespeist werden. Die Laufzeit von 7.000 h/a ergibt sich aus der geplanten Entwicklung des Wärmenetzes (vgl. Kapitel 3.2.1.2)

Abbildung 25 zeigt die mögliche Wärmeerzeugung bei Abkühlung des Abwassers um 5, 6 und 7 K.

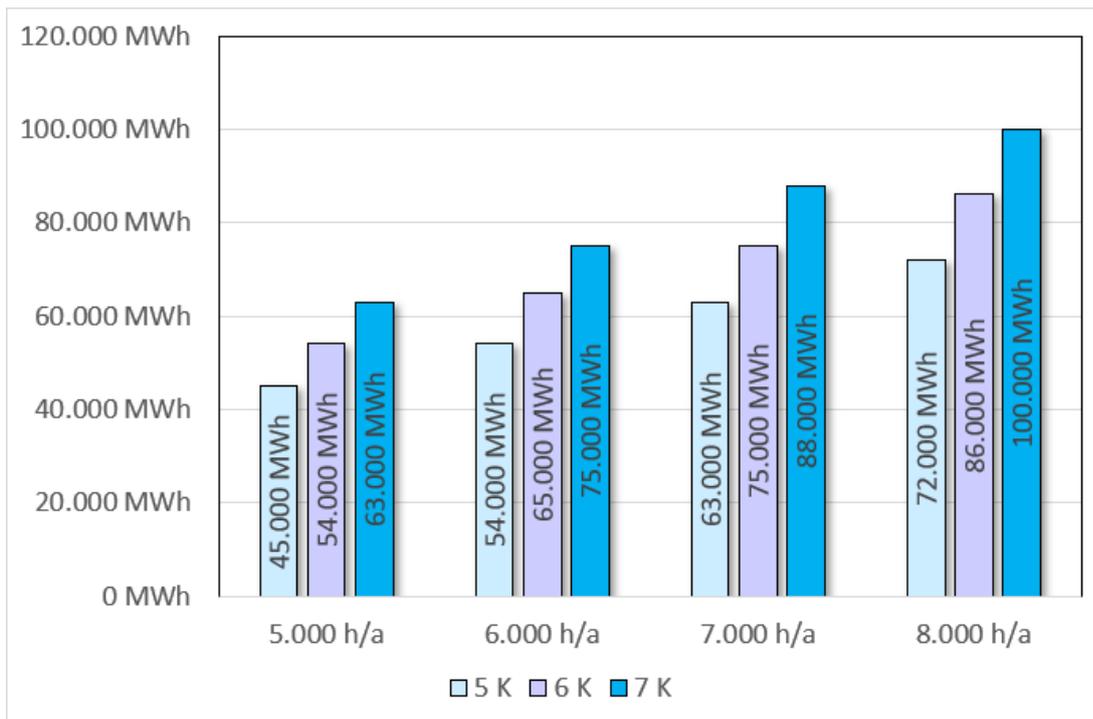


Abbildung 25: Potenzial zur Wärmeerzeugung bei verschiedenen Abkühlungen.

3.2.1.2 Technisches Konzept Tübingen

Die Abwasserwärmenutzung in Tübingen soll mittels mehrstufiger Wärmepumpen realisiert werden. Die benötigte Netzvorlauftemperatur von 90 °C im Winter wird dabei durch zwei Temperaturstufen in der Wärmepumpe erreicht. Im Rahmen der geplanten Transformation der bestehenden Wärmenetze soll die Vorlauftemperatur abgesenkt werden. Das Konzept für die mehrstufige Wärmeauskopplung in Tübingen ist in Abbildung 26 dargestellt.

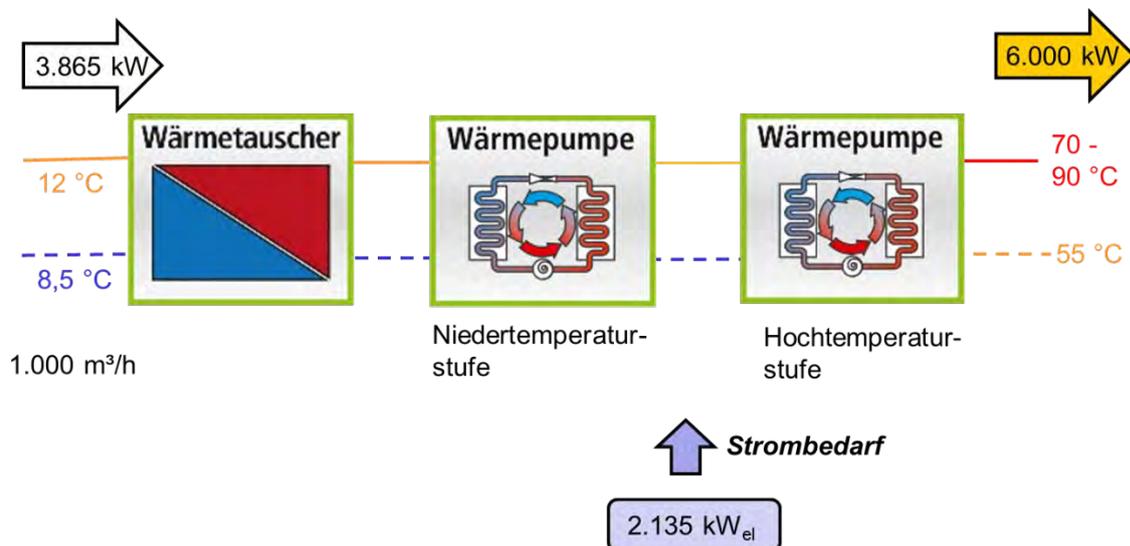


Abbildung 26: Konzept zur zweistufigen Wärmeauskopplung.

Es wird ein Ausbau der Wärmeerzeugung in zwei Ausbaustufen vorgesehen. Die erste Ausbaustufe beinhaltet den Bau einer Wärmepumpe mit 6 MW Heizleistung. Die Wärmepumpe nutzt dabei nur einen Teil des zur Verfügung stehenden Wärmepotenzials des Abwassers. Im dargestellten Beispiel wird das Abwasser um 3,5 K abgekühlt. In der zweiten Ausbaustufe ist die Erweiterung der Wärmepumpenleistung um 3 MW vorgesehen. Die dargestellten Ausbaustufen orientieren sich an

der durch Anschluss weiterer Abnehmer prognostizierten Wärmemenge. Die Wärmepumpen sollen über eine Laufzeit von 7.000 Stunden pro Jahr betrieben werden und damit in der ersten Ausbaustufe 42.000 MWh/a und in der zweiten Ausbaustufe in Summe 63.000 MWh/a des Wärmebedarfs der Stadtwerke Tübingen decken. Tabelle 9 zeigt die möglichen Ausbaustufen für die Kläranlage Tübingen.

Tabelle 9: Ausbaustufen mit Heizleistungen und Wärmemengen.

	7.000 h/a
Ausbau 2025	Wärmepumpenleistung 6 MW - 42.000 MWh
Ausbau 2030	Wärmepumpenleistung 9 MW - 63.000 MWh

Das Luftbild in Abbildung 27 zeigt, wie die Nutzung der Wärme aus Abwasser technisch am Standort Kläranlage umgesetzt werden soll. Ein Teilstrom des geklärten Abwassers wird nach der 4. Reinigungsstufe entnommen und über eine nicht isolierte Rohrleitung zur Energiezentrale gefördert. In der Energiezentrale wird das Abwasser im Wärmetauscher direkt abgekühlt. Das abgekühlte Abwasser wird über eine weitere nicht isolierte Rücklaufleitung in den Auslauf der Kläranlage eingeleitet.

Die Einbindung der Wärmesenke soll über isolierte Wärmeleitungen erfolgen.



Abbildung 27: Luftbild Kläranlage Tübingen mit Darstellung des geplanten technischen Konzepts. Bildquelle: esri / ArcGIS.

Eine mögliche Aufstellung der beiden geplanten Wärmepumpen sowie die erforderliche Größe für eine Heizzentrale ist in Abbildung 28 dargestellt. Darin nehmen die Wärmepumpen nur einen Teil der benötigten Fläche ein. Zusätzliche Fläche wird für weitere Betriebseinrichtungen, wie z.B. Abwasserwärmetauscher, Netzpumpen oder Filter benötigt.

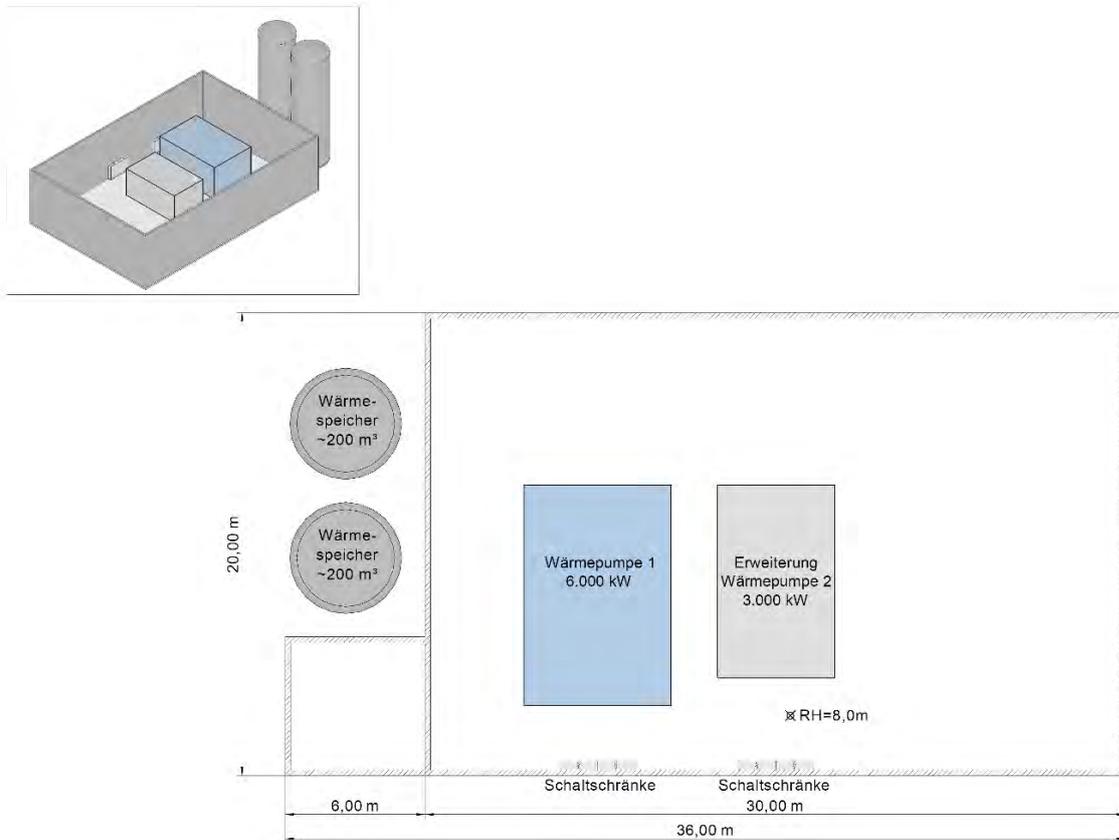


Abbildung 28: Aufstellungsplan und Platzbedarf.

3.2.1.3 Investitionskosten Tübingen

Für die skizzierten Ausbaustufen ergab sich die Kostenschätzung nach Tabelle 10, unterteilt in die Kostengruppen Energietechnik, Gebäude und Wärmequelle. Darin enthalten sind bereits Fördermittel auf die Investitionskosten in Höhe von 40 %. Diese können über das Förderprogramm „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze“ beantragt werden (BMWK, 2022). Die Kostenschätzung entspricht dem Kostenstand aus dem Jahr 2021. Kostensteigerungen durch aktuelle Entwicklungen (Ukraine-Krieg, Lieferketten-Schwierigkeiten) sind dabei noch nicht berücksichtigt.

Tabelle 10: Investitionskostenschätzung für das Projekt Tübingen.

Investitionskostenschätzung (ohne MwSt.)	Ausbaustufe 1	Ausbaustufe 1+2
Energietechnik:		
Wärmepumpe	6.088.000 €	10.055.000 €
Einbindung	2.052.000 €	2.599.000 €
Elektrotechnik / Regelungstechnik	1.368.000 €	1.368.000 €
Wärmespeicher	479.000 €	479.000 €
Gebäude:		
Gebäudekosten Heizzentrale	1.800.000 €	1.800.000 €
Wärmequelle:		
Abwasserleitung inkl. Entnahme	1.396.000 €	1.396.000 €
Förderung gemäß BEW	-5.273.000 €	-7.079.000 €
Summe verbleibende Investitionskosten	7.910.000 €	10.618.000 €
Kosten spezifisch	1.320 €/kW	1.180 €/kW

3.2.1.4 Wirtschaftlichkeitsberechnung Tübingen

Für die beiden geplanten Ausbaustufen wurden die Erzeugungskosten für Wärme aus der dargestellten Energiezentrale für die ersten zehn Jahre berechnet. Gemäß der „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze“ erhält der Betreiber in den ersten zehn Jahren einen Betriebszuschuss für die Erzeugung von Wärme mittels Wärmepumpen (BMWK, 2022). Dabei erfolgt die Abschreibung der Wärmepumpe auf die Dauer der Betriebsprämienförderung von zehn Jahren.

Die jährlichen Kosten können unterteilt werden in die Kapitalkosten zur Abschreibung und Zinstilgung der nach Förderung verbleibenden Investitionskosten. Ein weiterer Bestandteil der jährlichen Kosten sind die Betriebskosten, welche prozentual auf die Investitionskosten berechnet werden. Die Stromkosten entstehen durch Bezug von Strom aus dem Stromnetz zum Antrieb der Wärmepumpe. Im Konzept wurde der im Herbst 2021 gültige Stromarbeitspreis von 7,5 ct/kWh für die Berechnung der Stromkosten angesetzt. Hinzu kamen alle weiteren zum Zeitpunkt der Konzepterstellung gültigen Umlagen (wie beispielsweise die EEG-Umlage mit 6,5 ct/kWh) sowie die Netzentgelte des Stromnetzbetreibers. Für den gesamten Strombezug wurde ein spezifischer Strompreis in Höhe von 22,29 ct/kWh berücksichtigt.

Gemäß dem Förderprogramm „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze“ wird zudem eine Betriebsprämie für Wärmepumpen ausbezahlt, die Wärme aus erneuerbaren Wärmequellen in ein Wärmenetz einspeisen. Die Betriebsprämie wurde von den entstehenden Kosten abgezogen. Es ergeben sich die in Tabelle 11 dargestellten Kosten für die Erzeugung der berechneten Wärmemenge. Der spezifische Wert entspricht den Kosten, welche für die Erzeugung von einer kWh Wärme anfallen.

Tabelle 11: Wärmeezeugungskosten gemäß dargestelltem Konzept am Standort Tübingen.

Wärmeezeugungskosten (ohne MwSt.)		Ausbau 2025: Wärmepumpe 6 MW	Ausbau 2030: Wärmepumpe 6 MW + 3 MW
		7.000 h/a	7.000 h/a
Ausgaben	Kapitalkosten inkl. Förderung	631.300 €/a	917.800 €/a
	Betriebskosten	241.300 €/a	303.300 €/a
	Stromkosten	3.522.100 €/a	5.298.600 €/a
	Betriebszuschuss WP (gemäß BEW)	-2.080.700 €/a	-3.141.200 €/a
	Summe	2.314.000 €/a	3.378.500 €/a
Wärmeezeugung		42.000 MWh	63.000 MWh
spezifische Kosten Wärmeezeugung		5,51 ct/kWh	5,36 ct/kWh

3.2.1.5 Einbindung des Wärmepotenzials Tübingen

Die im Konzept berechnete Wärmemenge kann nur in das Wärmenetz der Stadtwerke eingespeist werden, wenn der Wärmebedarf groß genug ist. Es wird deshalb gleichzeitig geplant, die derzeit noch getrennten Wärmenetze Innenstadt, Südstadt und Alte Weberei miteinander zu verbinden (vgl. Abbildung 29). Nur so kann die dargestellte Wärmepumpe auch die prognostizierte Laufzeit erreichen. Im Rahmen der geplanten Netzverbindung sollen die Wärmenetze ebenfalls weiter ausgebaut werden. Es wird von einer Steigerung des Wärmebedarfs von 90 GWh/a auf 150 GWh/a bis zum Jahr 2030 ausgegangen, wenn alle Potenziale erschlossen werden.

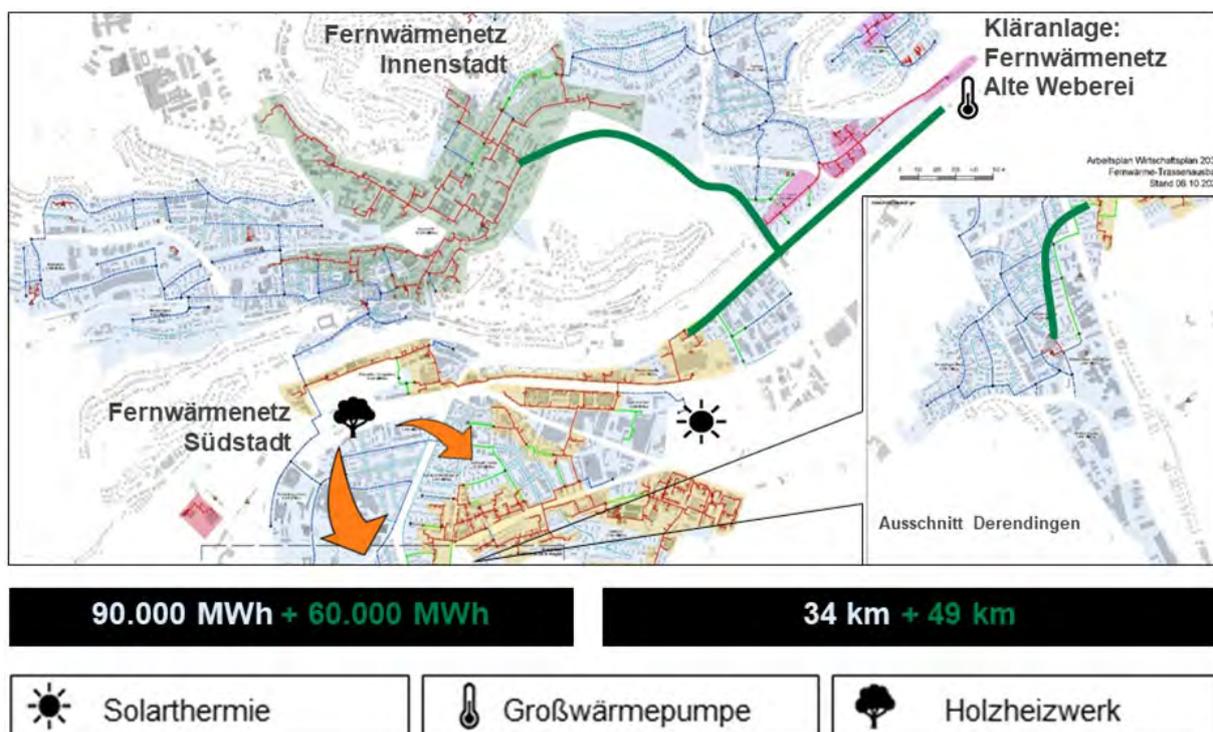


Abbildung 29: Geplanter Netzverbund Süd. Bildquelle: Stadtwerke Tübingen.

3.2.2 Weinstadt

Das Luftbild in Abbildung 30 zeigt die Kläranlage in Weinstadt mit den beiden Betriebsgeländen Nord und Süd.



Abbildung 30: Luftbild der Kläranlage Weinstadt. Bildquelle: esri / ArcGIS.

3.2.2.1 Abwasserwerte Weinstadt

Das Diagramm in Abbildung 31 zeigt die Auswertung der Messwerte des Abwassers über das Jahr im Auslauf der Kläranlage Weinstadt. Der in blau dargestellte Verlauf zeigt den Messwert des Volumenstroms und bezieht sich auf die linke Achsenskalierung.

Es wurde bei der Planung davon ausgegangen, dass rund 280 m³/h (78 l/s) im Mittel zur Abkühlung genutzt werden können. Bei einer Abkühlung um 4 K und einer Jahresarbeitszahl von 2,8 ergab sich für Weinstadt ein gesamtes Potenzial zur Beheizung von rund 2 MW_{th}. Das Schaubild zeigt in orange dargestellt die Temperatur des Abwassers im Auslauf der Kläranlage. Die Messwerte beziehen sich auf die rechte Achsenskalierung.

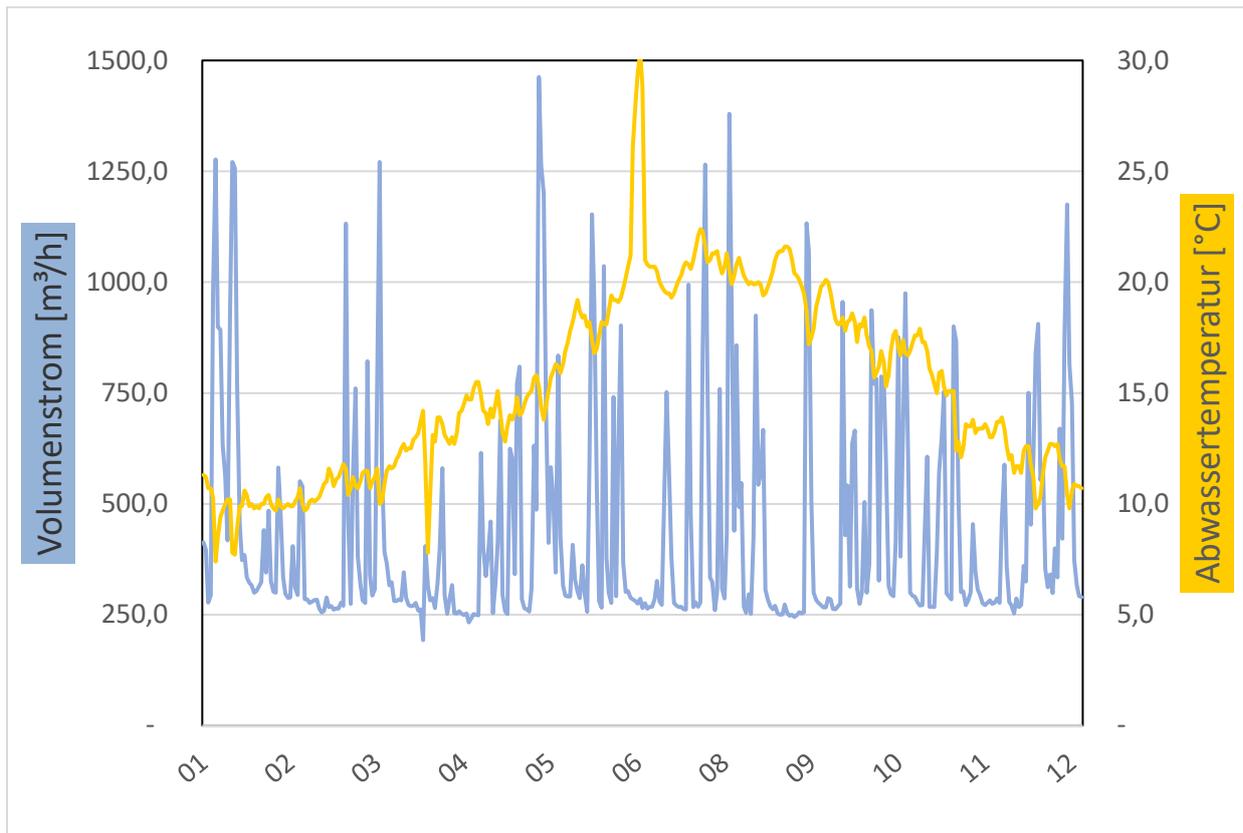


Abbildung 31: Verlauf Abwasservolumenstrom und -temperatur über das Jahr am Standort Weinstadt.

3.2.2.2 Technisches Konzept Weinstadt

In Abbildung 32 sind die Standorte der einzelnen Komponenten der geplanten Wärmeerzeugung dargestellt. Die Wärmepumpe soll in ein neues Gebäude direkt neben dem Auslauf der Kläranlage gebaut werden. Auf dem Gelände der Kläranlage müssen Strom- und Wärmeleitungen verlegt werden, um die Abwasserwärmepumpe in eine neu zu errichtende Heizzentrale einzubinden. Von der Heizzentrale aus wird die Wärme in das Wärmenetz eingespeist und verteilt.

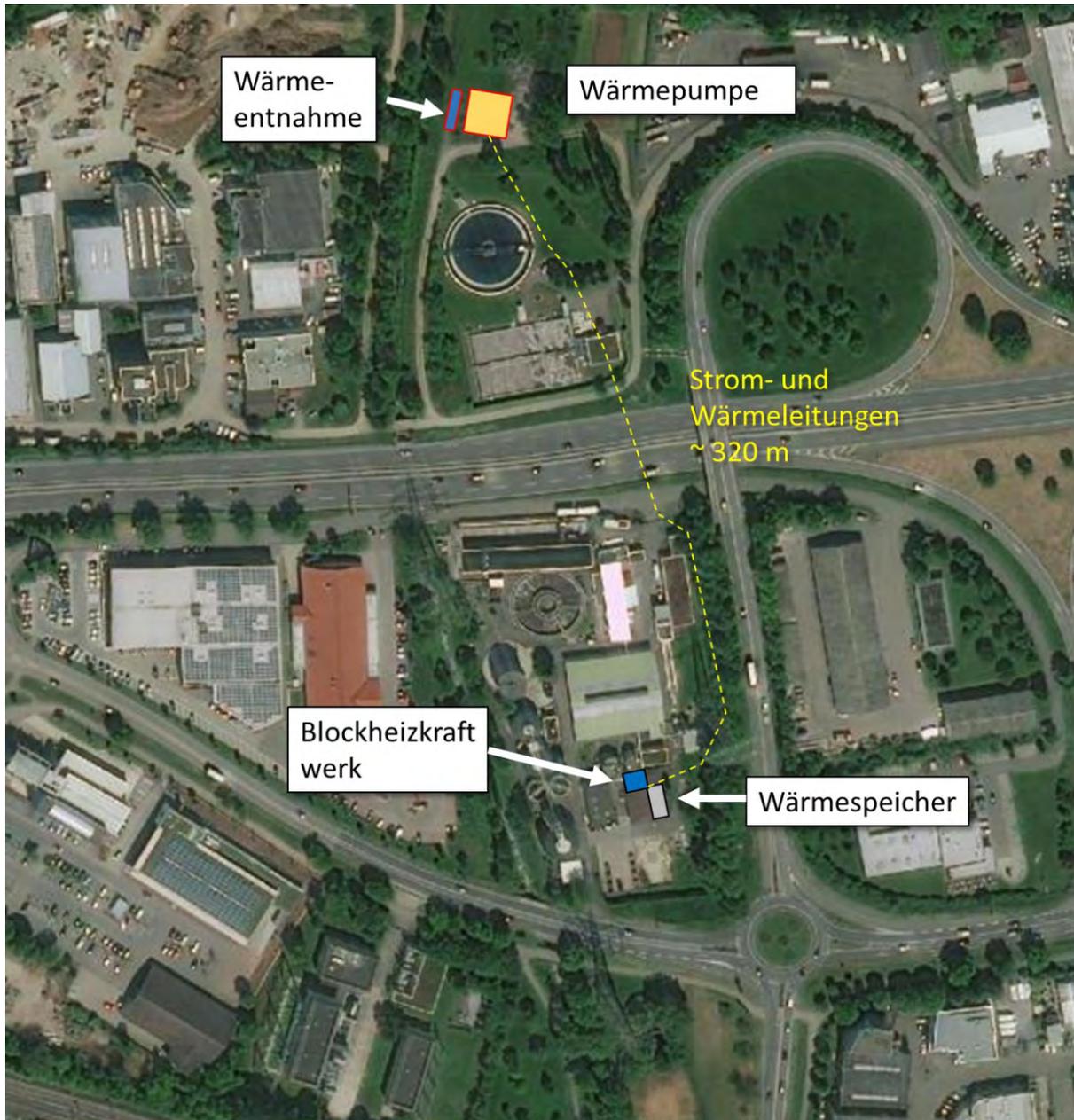


Abbildung 32: Konzept zur Nutzung der Abwasserwärme in Weinstadt. Bildquelle: esri / ArcGIS.

3.2.2.3 Investitionskosten Weinstadt

Für das dargestellte Konzept zur Wärmeerzeugung aus Abwasser wurden die Kosten für die Energietechnik inkl. Heizzentrale ermittelt (vgl. Tabelle 12). Die Förderung auf die Investitionen in Höhe von 40 % gemäß BEW wurde abgezogen. Die Kosten wurden im Frühjahr 2021 mit den damaligen Preisen ermittelt.

Die Kosten für den Bau des Wärmenetzes waren in der Aufstellung nicht enthalten.

Tabelle 12: Investitionskostenschätzung für das Projekt Weinstadt

Investitionskostenschätzung (ohne MwSt.)	Wärmepumpe 1,5 MW
Wärmepumpe und Energietechnik	2.445.000 €
Heizzentrale	720.000 €
Förderung BEW	-1.266.000 €
Summe verbleibende Investitionskosten	1.899.000 €
Kosten spezifisch	1.266 €/kW

3.2.2.4 Wirtschaftlichkeitsberechnung Weinstadt

Analog zur Berechnung der jährlichen Wärmeerzeugungskosten im Projekt Tübingen wurden für das Projekt Weinstadt in Abstimmung mit dem möglichen späteren Betreiber – den Stadtwerken Weinstadt – die Kosten der Wärmeerzeugung mittels Abwasserwärmepumpen ermittelt. Diese sind für die Anlagengröße von 1,5 MW_{th} in der Tabelle 13 dargestellt. Hierbei wurde in Abstimmung mit den Stadtwerken Weinstadt ein spezifischer Strompreis von 21 ct/kWh für den Strombezug festgelegt (Stand: Frühjahr 2021) und in der Berechnung der Wärmeerzeugungskosten berücksichtigt.

Tabelle 13: Wärmeerzeugungskosten gemäß dargestelltem Konzept am Standort Weinstadt.

Wärmeerzeugungskosten (ohne MwSt.)	Wärmepumpe 1,5 MW
Kapitalkosten inkl. Förderung	115.300 €/a
Betriebskosten	48.200 €/a
Stromkosten	525.000 €/a
Betriebszuschuss WP (gemäß BEW)	-348.800 €/a
Jahreskosten	339.700 €/a
Wärmeerzeugung	7.500 MWh
Wärmeerzeugungspreis	4,50 ct/kWh

3.2.2.5 Einbindung des Wärmepotenzials Weinstadt

Die geplante Verteilung der Wärme im bereits vorhandenen Wärmenetz sowie der weitere geplante Ausbau sind in Abbildung 33 dargestellt.

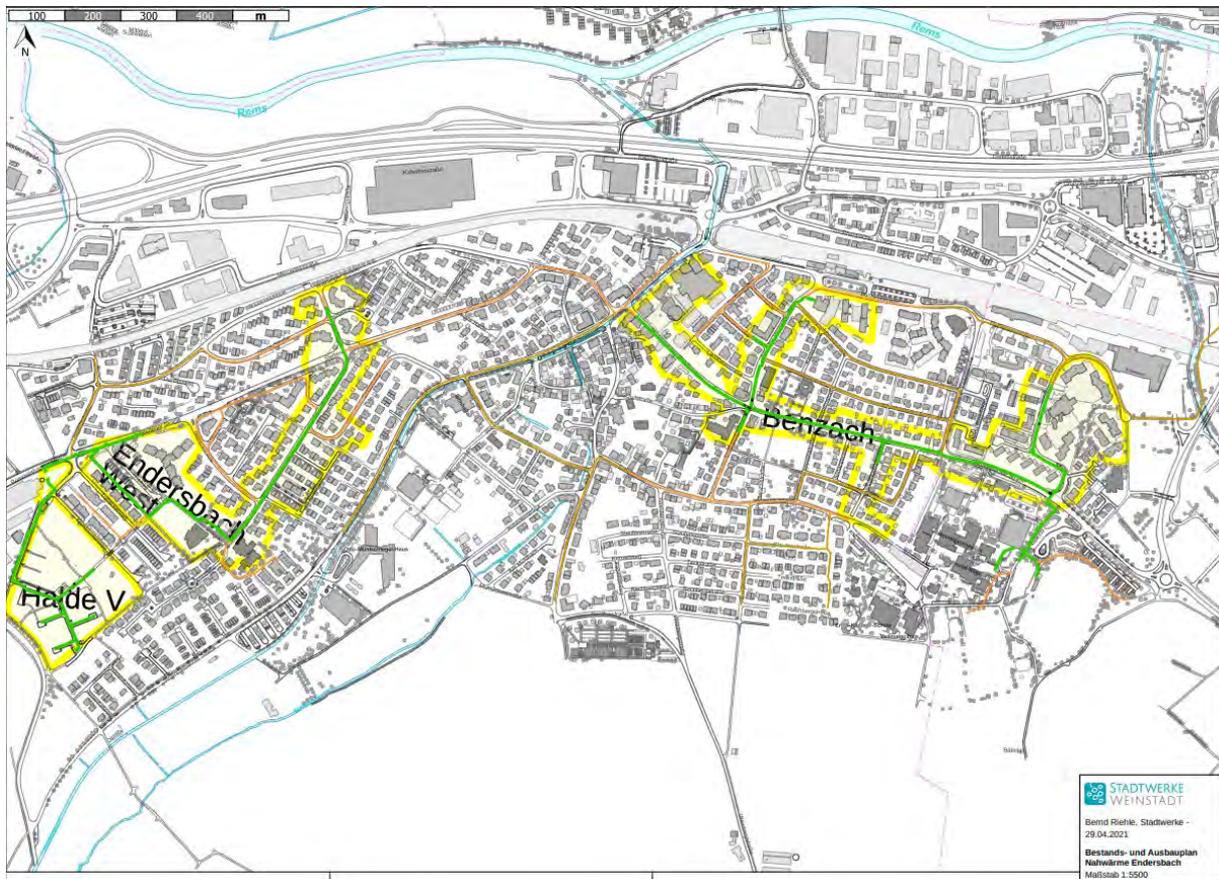


Abbildung 33: Bestandswärmenetze und Ausbauplanung der Stadtwerke Weinstadt. Quelle: Stadtwerke Weinstadt.

Die Stadtwerke Weinstadt betreiben aktuell Wärmenetze im Stadtgebiet mit einer Gesamtlänge von sechs Kilometern (grüne Linie in Abbildung 33). Aufgeteilt wird dies in die Netze Benzach, Endersbach West und Halde V. Geplant ist die Verbindung der Wärmenetze. Der Wärmebedarf im Bestandsnetz liegt bei ca. 8.000 MWh/a und könnte in einer Ausbauperspektive bis 2030 bis auf 17.000 MWh/a ansteigen.

Die Wärmeerzeugung erfolgt bisher überwiegend durch Kraft-Wärme-Kopplung mittels BHKWs sowie Gaskesseln. Der geplante Netzausbau erfordert die Integration weiterer Erzeugungleistung.

3.2.3 Altensteig

Im Nordschwarzwald gelegen betreibt der Abwasserzweckverband Altensteig eine Kläranlage im Osten der Stadt. Zum Zweckverband gehören die neun Städte und Gemeinden Altensteig, Ebhausen, Egenhausen, Freudenstadt, Grömbach, Neuweiler, Seewald, Simmersfeld und Wörnersberg. Die Kläranlage ist für 34.000 Einwohnerwerte ausgelegt.

3.2.3.1 *Technisches Konzept Altensteig*

Bisher gibt es noch kein Wärmenetz in direkter Nähe zur Sammelkläranlage Altensteig. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung wurde ein Konzept für ein neues Wärmenetz erstellt, um Gebäude des nahegelegenen Teilorts Berneck mit Wärme aus der Kläranlage zu versorgen.

Neben der überschüssigen Wärme des Faulgas-BHKW soll auch die im Abwasser enthaltene Wärme nutzbar gemacht und in das geplante Wärmenetz des Stadtteils Berneck eingespeist werden. Es wurde dazu eine Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 300 kW vorgesehen. Die geplante Wärmepumpe soll nur von September bis April betrieben werden, da in den Sommermonaten (Mai bis August) die nicht benötigte Wärme aus dem Faulgas-BHKW den Wärmebedarf für das konzipierte Wärmenetz vollständig decken kann. Die geplante Wärmepumpe kann im Betriebsgebäude der Kläranlage zum bereits vorhandenen BHKW ergänzt werden (vgl. Abbildung 34).

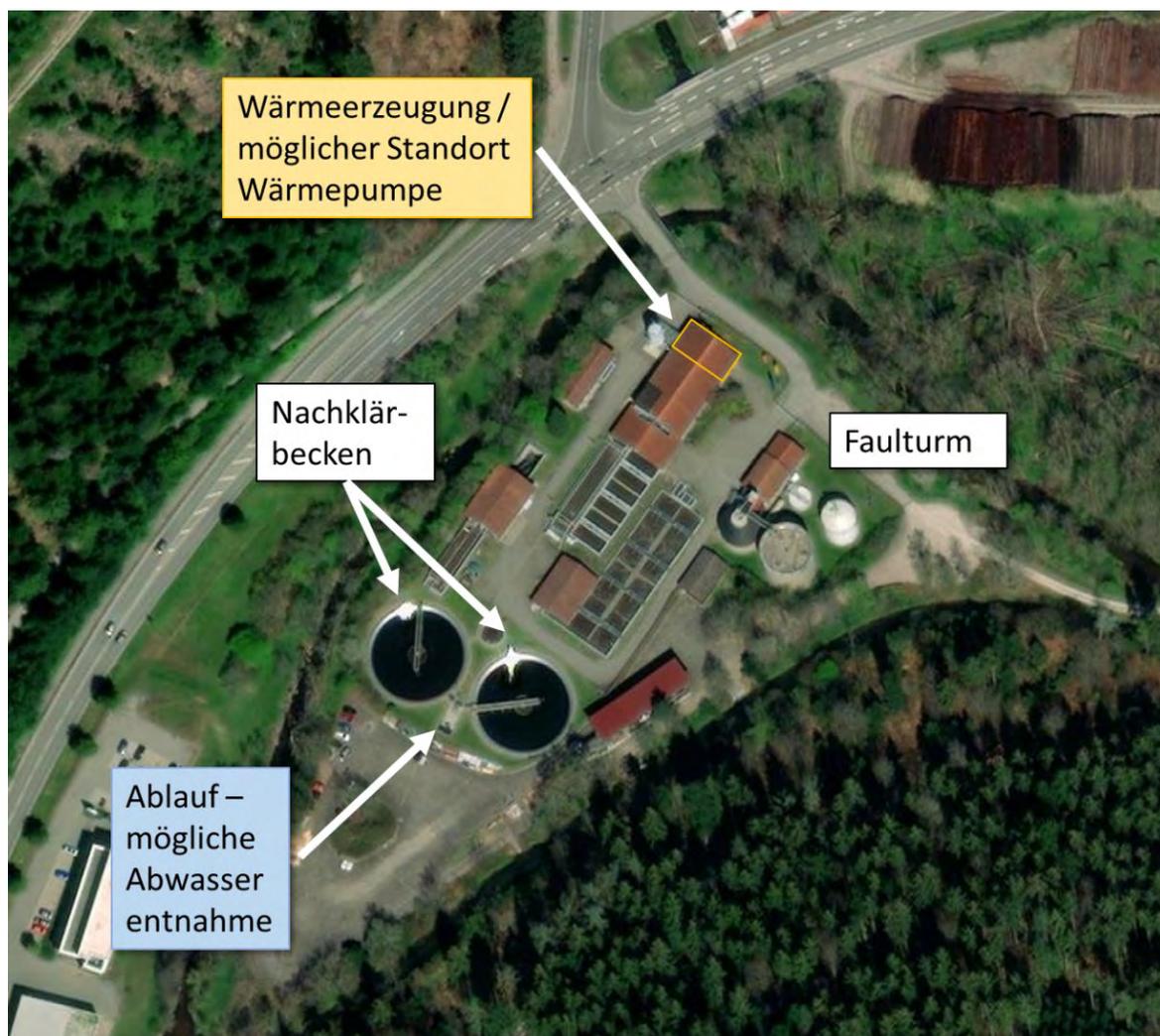


Abbildung 34: Luftbild und geplante Umsetzung des technischen Konzepts auf der Kläranlage Altensteig. Bildquelle: esri / ArcGIS.

Über das geplante Wärmenetz (siehe Abbildung 35) kann ein Großteil von Berneck mit Wärme versorgt werden. Das Konzept beinhaltet die folgenden Wärmeerzeuger:

- Nutzung der bisher nicht benötigten Wärme aus dem Faulgas-BHKW,
- eine Abwasserwärmepumpe mit $300 \text{ kW}_{\text{th}}$ und
- ein Heizkessel zur Abdeckung der Spitzenlast.

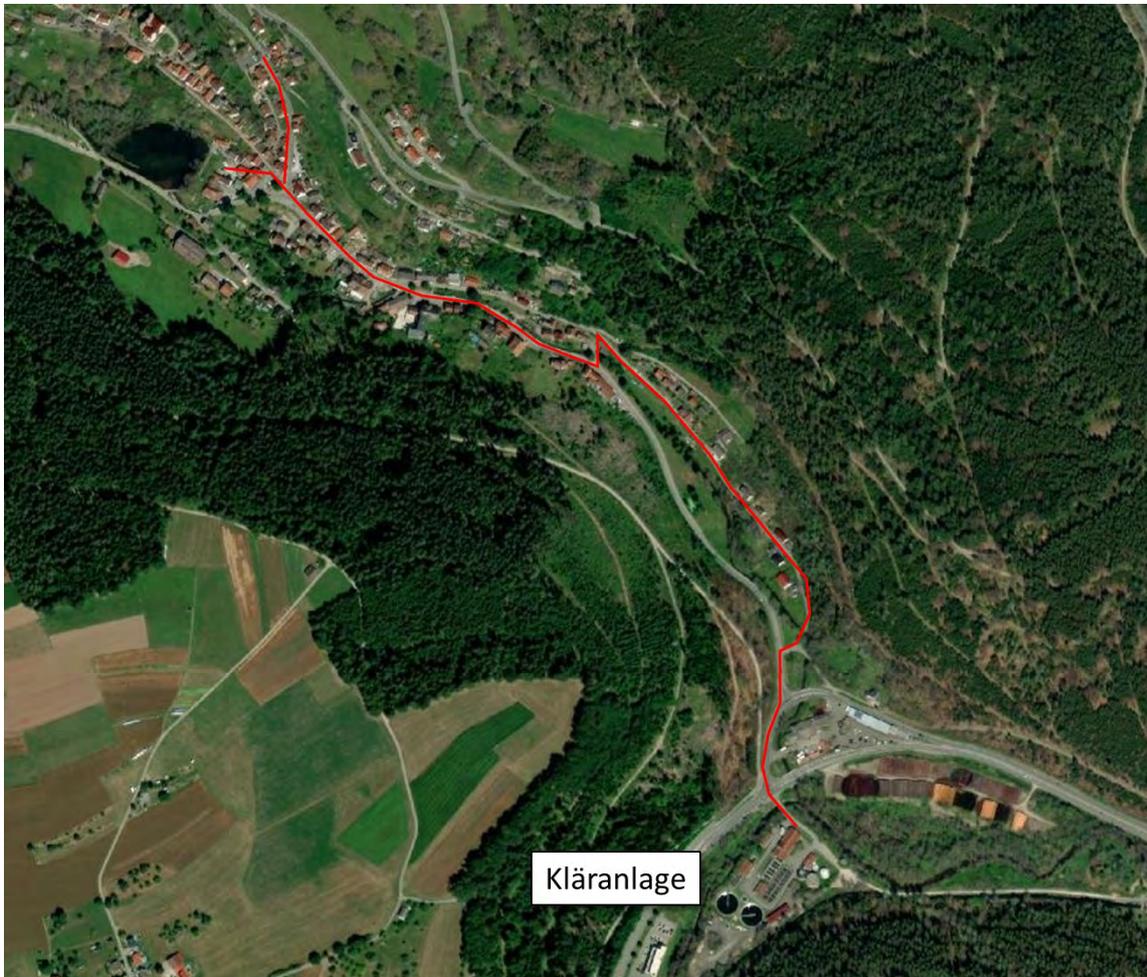


Abbildung 35: Übersicht des möglichen Wärmenetzes zur Versorgung des Teilorts Altensteig-Berneck. Bildquelle: esri / ArcGIS.

Bei dem dargestellten Wärmenetz ist von einem Wärmebedarf in Höhe $1,13 \text{ GWh/a}$ für die Gebäude entlang der Hauptleitung auszugehen. Es wurde jeweils nur der Wärmebedarf der Gebäudeeigentümer mit Interesse an einem Anschluss an die Wärmeversorgung berücksichtigt. Als Zuleitung für das geplante Wärmenetz wird eine Leitungslänge von 350 m erforderlich. Im Versorgungsgebiet werden 1.640 m Wärmeleitung zur Erschließung des dargestellten Wärmenetzes erforderlich. Daraus ergibt sich für das Wärmenetz eine Wärmedichte von $700 \text{ kWh}/(\text{m} \cdot \text{a})$. Die Deckungsanteile der einzelnen Wärmeerzeuger sind in Abbildung 36 dargestellt.

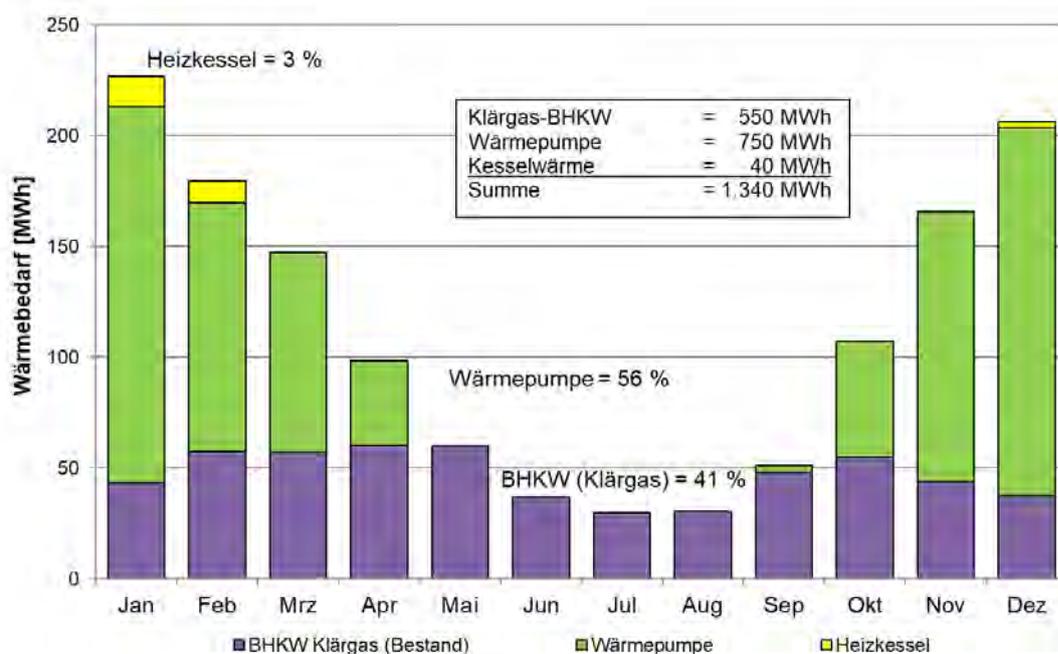


Abbildung 36: Monatsbilanz Deckung Wärmebedarf gemäß Konzept.

3.2.3.2 Investitionskosten Altensteig

In Tabelle 14 sind die Kosten für die Umsetzung der dargestellten Wärmeerzeugung aus Abwasserwärme ersichtlich. Ein zusätzliches Gebäude für den Einbau der Energietechnik ist in den Kosten nicht enthalten, da Räumlichkeiten der Kläranlage genutzt werden können. Die Kosten für den Bau des Wärmenetzes sind in der Aufstellung nicht enthalten. Die Kostenschätzung wurde im Frühjahr 2021 erstellt. Kostensteigerungen durch spätere Effekte sind nicht enthalten.

Tabelle 14: Investitionskostenschätzung für das Projekt Altensteig.

Investitionskostenschätzung (ohne MwSt.)	Wärmepumpe 300 kW
Energietechnik:	
Wärmepumpe	120.000 €
Abwasserwärmetauscher	90.000 €
Einbindung Abwasserwärmetauscher	30.000 €
Wärmespeicher inkl. Wärmedämmung	75.000 €
hydraulische Einbindung, Netzpumpen	45.000 €
Wärmedämmung	10.000 €
elektrotechnische Einbindung	30.000 €
Regelungstechnik	25.000 €
Umbauarbeiten / Fundamente	20.000 €
Nebenkosten	80.000 €
Förderung BEW	-210.000 €
Summe verbleibende Kosten	315.000 €
Investitionskosten spezifisch	1.050 €/kW

3.2.3.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung Altensteig

Aus den einzelnen Bestandteilen Kapitalkosten, Betriebskosten, Stromkosten und aus der Betriebsprämie ergaben sich analog zu den anderen Referenzprojekten für das Projekt Altensteig die jährlichen Netto-Kosten der Wärmeerzeugung. Im Projekt wurde der zum Zeitpunkt der Konzepterstellung (Ende 2020) gültige Stromarbeitspreis in Höhe von 4,5 ct/kWh zzgl. aller weiteren Umlagen und Netzentgelte verwendet.

Die spezifischen Stromkosten inkl. aller weiteren Strompreisbestandteile betragen zu diesem Zeitpunkt 24,4 ct/kWh.

Tabelle 15: Wärmeerzeugungskosten gemäß dargestelltem Konzept am Standort Altensteig.

Wärmeerzeugungskosten (ohne MwSt)	Wärmepumpe 300 kW
Kapitalkosten inkl. Förderung	25.100 €/a
Betriebskosten	16.100 €/a
Stromkosten	52.700 €/a
Betriebszuschuss WP (gemäß BEW)	-30.500 €/a
Summe	63.400 €/a
Wärmeerzeugung	753 MWh
spezifische Kosten Wärmeerzeugung	8,42 ct/kWh

3.3 Ergebnisse: Allgemeingültige Schlüsse aus der Betrachtung der drei Kläranlagenkonzepte

Um die Ergebnisse der einzelnen Referenzprojekte miteinander vergleichen zu können, wurden die spezifischen Investitionskosten und die spezifischen Wärmeerzeugungskosten in Abbildung 37 zusammengefasst. Dabei beschreibt die x-Achse der Grafik die jeweilige Heizleistung der gewählten Wärmepumpe. Die Investitionskostenschätzung bezogen auf die Heizleistung bezieht sich auf die linke y-Achsenkalibrierung und liegt bei allen drei Referenzprojekten im Bereich zwischen 1.050 €/kW und rund 1.320 €/kW. Die Kosten für die Wärmeerzeugung bezogen auf die jährliche Wärmemenge aus Abwasserwärme sind als grüne Punkte im Diagramm dargestellt und beziehen sich auf die rechte y-Achsenbeschriftung. Der Wert des Projekts Altensteig unterscheidet sich mit rund 8,4 ct/kWh von den anderen Referenzprojekten, welche im Bereich zwischen 4,5 ct/kWh und 5,5 ct/kWh liegen. Dies kann mit der vergleichsweise geringeren Wärmemenge sowie der geringeren Betriebsdauer unter Vollast begründet werden.



Abbildung 37: Vergleich der spezifischen Werte der untersuchten Referenzprojekte.

Die berechneten Werte beruhen auf den Energiepreisen sowie den Investitionskostenansätzen zum Zeitpunkt der Konzepterstellung. In der aktuellen Situation sind erhebliche Kostensteigerungen in allen Bereichen zu beobachten. Die größten Kostensteigerungen sind dabei bei den Energiepreisen – aufgrund von reduzierten Gaslieferungsmengen sowie einem drohenden Gaslieferstopp – zu beobachten. Eine Abschätzung, welches Niveau die Energiepreise in Zukunft erreichen, ist zum Zeitpunkt der Berichtverfassung nicht möglich. Politische Ereignisse haben einen erheblichen direkten Einfluss auf den Gaspreis und damit auch einen indirekten Einfluss auf den Strompreis, weshalb sich die Randbedingungen wöchentlich ändern. Um die Ergebnisse mit anderen Wärmeerzeugungsanlagen vergleichen zu können, ist ein Bezug der verwendeten Ansätze zu im Betrachtungszeitraum gültigen Energiepreisen und Investitionskosten erforderlich.

Eine allgemein gültige Übertragung der berechneten spezifischen Werte auf andere Standorte ist generell nicht möglich, da eine individuelle Betrachtung aller Rahmenbedingungen erforderlich ist. Bei künftigen Planungen an weiteren Standorten muss ein auf die örtlichen Gegebenheiten angepasstes technisches Konzept entwickelt werden.

4 Projektinitiierung an den ausgewählten Standorten

4.1 Ablauf der Projektinitiierungsgespräche

Basierend auf den Ergebnissen der standortscharfen Potenzialanalyse (vgl. Kapitel 2.2.2) wurden an den in Abbildung 38 gezeigten sieben Kläranlagenstandorten bzw. in sechs Kommunen (in der Stadt Aalen existieren zwei kommunale Kläranlagen) Projektinitiierungsgespräche mit Vertreter*innen der Kläranlagenbetreiber, der Kommunen, von Energieversorgern und von Energieagenturen durchgeführt. Diese Gespräche fanden in KW 10/2022 in Form von Videokonferenzen statt.



Abbildung 38: Karte der ausgewählten Projektinitiierungsstandorte.

Die erste Kontaktaufnahme erfolgte telefonisch über den Betreiber der Kläranlage, wobei das Projekt als auch die Ziele der Projektinitiierung vorgestellt wurden. Nach einer ersten positiven Rückmeldung des Kläranlagenbetreibers wurden diesem und den genannten kommunalen Akteuren weitere Informationen über das Projekt, das Vorgehen der Projektinitiierung, Daten und Terminabfrage zugesandt.

Ziel der Projektinitiierung war es, allen potenziellen Akteuren der kommunalen Wärmeplanung und der Abwasserbeseitigung an den jeweiligen Standorten die Projektergebnisse vorzustellen und sie für die Potenziale der Abwasserwärmenutzung zu sensibilisieren.

Dafür wurden zuerst die Ergebnisse der standortscharfen Potenzialanalyse durch das ifeu vorgestellt. Im Anschluss wurden schematische Einsatzkonzepte von Großwärmepumpen in Wärmenetzen, eine Umgebungsanalyse sowie mögliche Perspektiven hinsichtlich der Wärmesenken und Wärmequellen für den jeweiligen Standort aufgezeigt. Für die standortscharfe Potenzialanalyse in Kapitel 2.1.1 wurde das Wärmepotenzial der Kläranlagen mithilfe der im Leistungsnachweis 2019

angegebenen Jahrestrockenwetterabflüsse und einer theoretischen mittleren Abkühlung des Abwassers um 4 K ermittelt. Dahingegen wurde für die sechs priorisierten Kommunen eine detaillierte Auswertung mehrjähriger, zeitlich höher aufgelöster Datenreihen zu Abwassermengen und -temperaturen für eine genauere Ermittlung des Wärmepotenzials der Kläranlagen durchgeführt (Kapitel 4.2).

Anhand der Vorstellung der drei Referenzanlagen Tübingen, Weinstadt und Altensteig wurde den Akteuren ein Einblick in die techno-ökonomische Betrachtung und konkrete Anwendung der Abwasserwärmenutzung auf der Kläranlage gewährt.

In einer Diskussion mit den Akteuren wurden erste Umsetzungsmöglichkeiten, Restriktionen, Hemmnisse und Handlungspotenziale erarbeitet und festgehalten. Durch die Präsentation der Projektergebnisse wurden alle Anwesenden auf einen gemeinsamen Wissensstand gebracht, welcher die Durchführung und Kommunikation von künftigen, interdisziplinären Projekten zur Abwasserwärmenutzung erleichtern soll. Die Ergebnisse der Diskussionen wurden protokolliert und den Akteuren zusammen mit den Handreichungen als Hilfestellung für das weitere Vorgehen übermittelt.

Darauf aufbauend können sich die kommunalen Entscheidungsträger*innen für eine durch das Umweltministerium Baden-Württemberg geförderte Erstberatung und / oder Projektanbahnung entscheiden und somit die Umsetzung einer Abwasserwärmenutzung in ihrer Kommune weiter forcieren. Im Rahmen der Erstberatung würden dann konkrete Ergebnisse für den Standort wie die Konzeption der Abwasserwärmenutzung, technische Realisierbarkeit, Investitionskosten, Wirtschaftlichkeitsabschätzungen und weitere Fördermöglichkeiten erarbeitet. Diese Erstberatung sollte durch ein qualifiziertes Ingenieurbüro durchgeführt werden.

4.2 Wärmepotenzialermittlung für die einzelnen Standorte

Für die Vorbereitung der Gespräche zur Projektinitiierung wurde das Wärmepotenzial bzw. der mögliche Wärmeentzug aus dem Auslauf der jeweiligen Kläranlage anhand lokaler Messdaten abgeschätzt, um die Nutzungspotenziale genauer bewerten zu können.

Die Abschätzung des Wärmepotenzials im Auslauf der Kläranlage erfolgte anhand des DWA-Regelwerkes Merkblatt DWA-M 114, Abwasserwärmenutzung (2020). Die Wärmeentzugsleistung W_{ABW} errechnet sich aus der Abkühlung der Abwassermenge nach der Beziehung, welche in Formel (1) in Abschnitt 2.1.1 dargestellt ist.

Zur Ermittlung des Durchflusses und der Temperaturdifferenz des Abwasserstroms infolge des Wärmeentzugs wurden die Betriebsdaten der letzten drei Jahre (2021+2020+2019 oder 2020+2019+2018) bei den priorisierten Standorten angefordert. Der angeforderte Datenumfang war wie folgt:

- Tägliche, durchschnittliche Abwassertemperatur,
- Täglicher Abwasserzufluss Q_d ,
- Wetterschlüssel,
- Jährliche verbrauchte Trinkwassermenge = jährlicher Schmutzwasserabfluss.

Der nutzbare Volumenstrom des Abwassers im Auslauf der Kläranlage sollte auf die kontinuierlich abfließende Wassermenge festgelegt werden. Hierfür wurde der Trockenwetterabfluss mithilfe des gleitenden 21-Tage-Minimums ermittelt und mit weiteren statistischen Kenngrößen sowie graphischen Auswertungen verglichen.

Die angesetzte Temperaturdifferenz des Abwasserstroms infolge des Wärmeentzugs ergibt sich aus der Differenz der durchschnittlichen Abwassertemperatur im Auslauf der Kläranlage während der Heizperiode (T_{Heiz}) und der Temperatur im Auslauf der Kläranlage nach Wärmeentzug ($T_{res,AN}$) nach Formel (9). Die Heizperiode wurde auf die Monate Oktober bis April festgelegt. Nur für diesen Zeitraum wurde die durchschnittliche Abwassertemperatur im Auslauf der Kläranlage ermittelt, da davon ausgegangen wird, dass außerhalb der Heizperiode mit zumeist höheren Abwassertemperaturen der Umfang des Wärmeentzugs deutlich geringer ist. Es wurde pauschal eine Auslauf-temperatur aus der Kläranlage nach dem Wärmeentzug ($T_{res,AN}$) von 5 °C angenommen.

$$(9) \quad \Delta T = T_{Heiz} - T_{res,AN}$$

Zur Temperatur des Abwassers wurden von den Betreibern unterschiedliche Messdaten im Zulauf, in der Biologie oder im Auslauf geliefert. Wenn keine Temperaturmessungen im Auslauf vorlagen, wurden Daten der alternativen Messpunkte verwendet. Dabei wurde angenommen, dass sich die Abwassertemperatur im Auslauf der Kläranlage nicht signifikant von der gemessenen Temperatur im Zulauf oder in der Biologie unterscheidet. Zur Bestimmung einer mittleren Abwassertemperatur in der Heizperiode (T_{Heiz}) wurde eine statistische Auswertung der gemessenen Abwassertemperaturen von Oktober bis April durchgeführt. Zusätzlich wurde die durchschnittliche Abwassertemperatur in Abhängigkeit der zufließenden Abwassermenge hinzugezogen (Formel (10)).

$$(10) \quad T_{gew} = \frac{\sum(Q_d * T_d)}{\sum(Q_d)}$$

Abbildung 39 und Tabelle 16 verdeutlichen die Veränderung der gemessenen Abwassertemperaturen im Auslauf einer exemplarischen kommunalen Kläranlage und die aus den Messdaten abgeleiteten statistischen Kennzahlen. Bei der Auswertung zeigte sich, dass sich die Verwendung des Medians der Abwassertemperatur während der Heizperiode eignet, da der Median als statistische Kenngröße als stabiler gegenüber Ausreißern gilt und in etwa mit der durchschnittlichen Abwassertemperatur, gewichtet mit Hilfe des Abwasserdurchflusses, übereinstimmt.

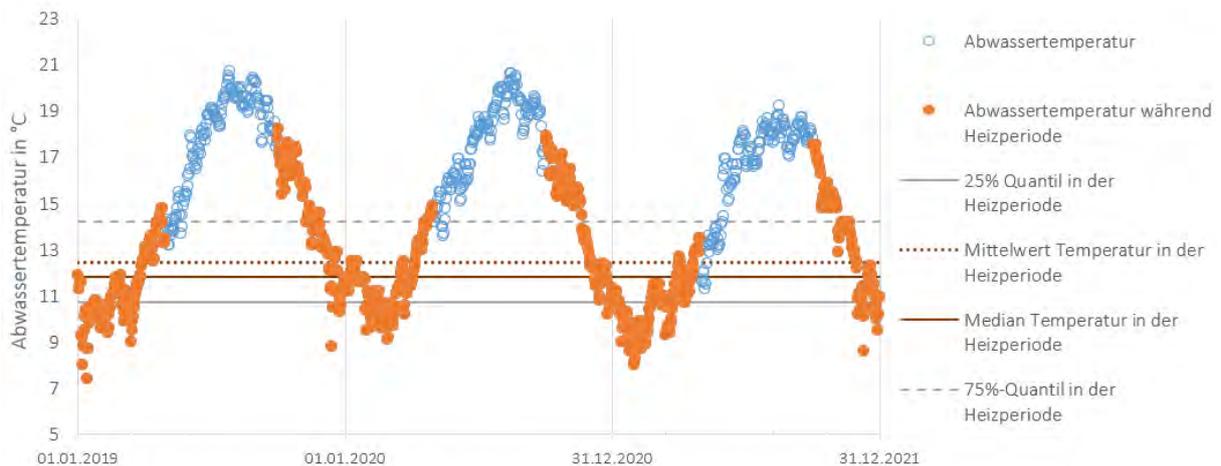


Abbildung 39: Ganglinie der Abwassertemperatur und Kenngrößen der Abwassertemperatur während der Heizperiode an einem Beispiel-Standort.

Tabelle 16: Statistische Kenngrößen der Abwassertemperatur während der Heizperiode an einem Beispiel-Standort.

Kenngröße	Einheit	Wert
Minimale tägliche Abwassertemperatur in der Heizperiode	°C	7,4
25 %-Quantil in der Abwassertemperatur in der Heizperiode	°C	10,7
Durchschnittliche Abwassertemperatur in der Heizperiode	°C	12,4
Median der Abwassertemperatur in der Heizperiode	°C	11,8
75 %-Quantil der Abwassertemperatur in der Heizperiode	°C	14,2
Maximale tägliche Abwassertemperatur in der Heizperiode	°C	18,2
Durchschnittliche Abwassertemperatur in der Heizperiode (Gewichtung mittels Abwasserdurchfluss)	°C	11,9

Anhand der nutzbaren Volumenströme und der Temperaturspreizung wurde für jeden Standort ein theoretisch nutzbares Wärmeentzugspotenzial W_{ABW} ermittelt. Zur Ermittlung des technisch und wirtschaftlich realisierbaren Wärmepotenzials müssen die Randbedingungen im Einzelfall geprüft werden. So wird üblicherweise zur Ermittlung des technisch realisierbaren Wärmepotenzials eine Abkühlung von $\Delta T = 4 \text{ K}$ herangezogen, die häufig unter der nach Formel (9) ermittelten theoretischen Temperaturspreizung liegt (vgl. Abschnitt 3.1.4).

Mit dieser pauschalen Temperaturspreizung von 4 K wurde zusätzlich für jeden Standort ein technisches Wärmeentzugspotenzial, und damit eine realistischere Einschätzung der nutzbaren Wärme, berechnet. Basierend auf den theoretischen und technischen Wärmeentzugspotenzialen wurde die insgesamt mögliche Einspeiseleistung einer elektrischen Wärmepumpe am Auslauf der Kläranlagen mit einer pauschalen Jahresarbeitszahl von 2,8 berechnet (vgl. Abschnitt 2.1.1, Formel (2), Abschnitt 3.1.4).

In Tabelle 17 sind die Ergebnisse der Wärmepotenzialermittlung anhand von Messdaten der Anlagentreiber für die einzelnen Standorte der Projektinitiierung aufgeführt.

Tabelle 17: Ergebnisse der Wärmepotenzialermittlung für die priorisierten Standorte.

Kläranlage (Gemeinde, falls abwei- chend)	Größen- klasse	Ausbau- größe [EW]	Trocken- wetter- abfluss \dot{Q} [l/s]	T_{Heiz} [°C]	ΔT theo- re- tisch [K]	W_{ABW} theo- retisch [kW]	P_{WP} theo- retisch [kW]	W_{ABW} tech- nisch [kW]	P_{WP} tech- nisch [kW]	Ver- gleich: W_{ABW} GIS- Analyse [kW]
Sindelfingen	5	250.000	281	12,2	7,2	8.477	13.186	4.710	7.326	4.672
Blankenloch (Stutensee)	4	15.000	18,5	12,1	7,1	551	857	310	483	290
Zipfelbachtal (Winnenden)	4	28.450	29,3	14,4	9,4	1.154	1.795	491	764	503
Aalen	4	80.000	150,0	11,8	6,8	4.273	6.647	2.514	3.910	2.504
Unterkochen (Aalen)	4	33.000	44,8	16,2	11,2	2.102	3.270	751	1.168	833
Pfullingen	4	55.000	166	10,8	5,8	4.034	6.275	2.782	4.328	3.079
LFKW Büs- sau (Stutt- gart)	3	9.660	21,5	14,0	9,0	811	1.262	360	561	340

Die Zahlen verdeutlichen die Auswirkung der Temperaturspreizung auf die nutzbare Wärmemenge. Höhere erreichbare Temperaturspreizungen in der Auslegung der Anlagen können das nutzbare Wärmepotenzial deutlich steigern. Die anhand von stundenscharfen Messdaten über mehrere Jahre festgelegten Volumenströme eines Trockenwetterabflusses \dot{Q} stimmen annähernd mit den angegebenen Trockenwetterabflüssen des Leistungsnachweises 2019 überein. So entsprechen die anhand der Messdatenauswertung ermittelten technischen Potenziale in etwa den Berechnungen im Rahmen der GIS-Analyse.

Zur Vergleichbarkeit der Standorte untereinander wurde das ermittelte Wärmepotenzial durch die Anschlussgröße der Kläranlage geteilt (Tabelle 18). Daraus ergab sich, dass das Lehr- und Forschungsklärwerk Büsnau zwar in Bezug auf die Anschlussgröße die kleinste betrachtete Anlage war, jedoch mit 811 kW ein höheres Wärmepotenzial als die Kläranlage Blankenloch und das höchste einwohnerspezifische Wärmepotenzial aufweist. Es zeigte sich somit, dass auch mittlere Kläranlagen (Größenklasse 3) in die Wärmeplanung integriert werden sollten. Das Nutzungspotenzial wird nicht per se durch die Größenklasse bestimmt.

Tabelle 18: Vergleich der priorisierten Standorte hinsichtlich ihres einwohnerspezifischen Wärmepotenzials.

Kläranlage (Gemeinde, falls abweichend)	Größenklasse	Ausbaugröße [EW]	W_{ABW} theoretisch [kW]	W_{ABW} theoretisch [kW/EW]
Sindelfingen	5	250.000	8.477	0,034
Blankenloch (Stutensee)	4	15.000	551	0,037
Zipfelbachtal (Winnenden)	4	28.450	1.154	0,041
Aalen	4	80.000	4.273	0,053
Unterkochen (Aalen)	4	33.000	2.102	0,064
Pfullingen	4	55.000	4.034	0,073
LFKW Büsnau (Stuttgart)	3	9.660	811	0,084

4.3 Handreichungen für lokale Entscheidungsträger*innen

Um die zentralen Erkenntnisse für eine Projektinitiierung an den Standorten zu bündeln, wurden den Teilnehmenden im Nachgang der Gespräche folgende Dokumente zur Verfügung gestellt:

Tabelle 19: Übersicht der Handreichungen für lokale Entscheidungsträger*innen.

	Beschreibung	Verweis
1. Foliensatz DWA / ifeu / IBS	Projektvorstellung und übergeordnete Ergebnisse, Darstellung der lokalen Wärmepotenzialermittlung und der Wärmesenkenanalyse	Nicht publiziert
2. Ergebnisprotokoll	Dokumentation der Teilnehmenden und der wesentlichen Ergebnisse des Projektinitiierungsgesprächs	Nicht publiziert
3. Bericht Wärmepotenzial	Detaillierte Darstellung der statistischen Auswertung lokaler Messdaten und der Berechnung des theoretischen und technischen Nutzungspotenzials	Nicht publiziert
4. Steckbriefe Musteranlagen	Zusammenstellung zentraler Kenngrößen der drei Musteranlagen Weinstadt, Tübingen, Altensteig	Anhang I
5. Checkliste zur Erstberatung und Projektanbahnung	Liste einzubindender Akteure, Erfolgsfaktoren und Hemmnisse in der Abwasserwärmennutzung	Anhang II
6. Fördermodalitäten	Informationsblatt Klimaschutz-Plus: Erstberatung und Projektanbahnung bei Abwärmennutzung	(Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2021)

Als Teil des Foliensatzes wurde des Weiteren eine Übersicht über die Konditionen für die Erstellung von Nutzungskonzepten für Abwasserwärme der Förderprogramme des Bundes und des Landes Baden-Württemberg übermittelt (Tabelle 20).

Tabelle 20: Förderprogramme zur Erstellung von Konzepten.

	Inhalte	Förderquote	Weitere Informationen
KfW Programm 432 – energetische Stadtsanierung	Erstellung von integrierten Quartierskonzepten	75 %	
Klimaschutz Plus (Baden-Württemberg)	Erstberatung und Projektanbahnung bei Abwärmenutzung	75 % von max. 600 €/Tag	Erstberatung: bis 30 Tagessätze (max. 18.000 €) Projektanbahnung: bis 100 Tagessätze (max. 60.000 €)
Bundesförderung effiziente Wärmenetze	Erstellung von Transformationsplänen für Bestandsnetze / Machbarkeitsstudien für neue Wärmenetze	50 %	Auch Investitionskostenförderung (40 %) und Betriebskostenzuschuss für Großwärmepumpen

4.4 Erkenntnisse aus den Gesprächen

Die Abwasserwärmenutzung ist ein interdisziplinäres Thema. Die Herausforderung besteht darin, den Energie- und Wärmeverorgern mögliche Abwasserwärmepotenziale näher zu bringen und gleichzeitig die Belange der Abwasserbehandlung, insbesondere die der Betriebssicherheit, zu beachten. Im Folgenden werden einige allgemeine Erkenntnisse aus den Gesprächen aufgeführt. Standortsspezifische Informationen werden an dieser Stelle nicht dargestellt.

- An allen Standorten wurden interdisziplinäre Projektinitiierungsgespräche geführt. Durch den direkten Dialog zwischen Vertretern der Abwasserbehandlung, der Stadtwerke bzw. Energieversorger und der Kommunen wurden mögliche Nutzungsoptionen effizient und fachlich fundiert diskutiert. In den Überlegungen wurden auch absehbare zukünftige Entwicklungen (z.B. geplante Neubauvorhaben, Netzausbau, Umbauten auf den Kläranlagen) berücksichtigt. Das Format der moderierten Gespräche hat sich als geeignet erwiesen. Das Interesse der Beteiligten an dem Thema Abwasserwärmenutzung wurde deutlich.
- Im Vergleich zu einigen industriellen Abwärmequellen ist die Verfügbarkeit von Abwasserwärme kontinuierlicher und auch langfristig sicherer. Durch die meist enge Verzahnung von Stadtwerken (Energieversorger) mit der Abwasserentsorgung unter dem Dach der Kommune können leichter Absprachen getroffen werden und Redundanzen bzw. Lösungen bei Ausfällen im Vorfeld abgestimmt werden. Redundanzen müssen eingeplant werden, um Wartungsarbeiten auf der Kläranlage zu überbrücken (planbar), und um spontane Unterbrechungen des Ablaufs abfedern zu können (nicht planbar). Letzteres betrifft zum Beispiel die unzulässige Einleitung von Öl bei einem Unfall und eine damit einhergehende Nutzung von Pufferbecken auf den Kläranlagen für mehrere Stunden.

- Weitere Wärmequellen auf der Kläranlage (BHKW, perspektivisch Elektrolyseure) sollten als Gesamtkonzept erfasst und in die kommunale Wärmeplanung mit aufgenommen werden. So können evtl. weitere Wärmequellen bzw. Überschüsse auf der Kläranlage entdeckt und entsprechend im Wärmenetz genutzt werden. Ebenso ist zu prüfen, ob sich eine Nutzung niedrig temperierter Wärme aus einer Wärmepumpe im Ablauf der Kläranlage für die Beheizung von Faultürmen eignet und im Gegenzug höher temperierte Wärme aus einem Klärgas-BHKW in ein Wärmenetz eingespeist werden kann.
- Die Verfügbarkeit von Fachkräften bzw. von personellen Kapazitäten wird vor allem bei kleineren Kommunen / Stadtwerken / Kläranlagenbetreibern als Hemmnis gesehen. Für die Projektinitiierung sind hier externe Impulse und Beratungskapazitäten, etwa durch Energieagenturen, hilfreich.
- Die Größenklasse der Kläranlage ist kein alleiniger Indikator für das Nutzungspotenzial. Auch auf kleineren Anlagen der Größenklasse drei besteht ein Nutzungspotenzial, das im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung berücksichtigt werden sollte.
- Landesinstitutionen (z.B. Hochschulen als große Energieverbraucher, darunter signifikante Anteile an Wärme und Kälte) sind oft losgelöst vom umgebenden städtischen Energieversorgungssystem. Diese betreiben häufig eigene Energieumwandlungsanlagen und Infrastrukturen bzw. lassen diese betreiben. Auf längere Sicht wäre eine Verbindung von benachbarten Systemen sinnvoll.
- An vielen Orten ist der Neubau bzw. der Ausbau von Wärmenetzen für die Nutzung von Abwasserwärme erforderlich. Hier wurden verbesserte Rahmenbedingungen gegenüber bestehenden Gasversorgungsinfrastrukturen und teilweise kommunale Steuerungsmöglichkeiten (Anschluss- und Benutzungszwang an Wärmenetze in bestimmten Gebieten über kommunale Satzungen) als sinnvoll angesehen.
- Für die Wirtschaftlichkeit netzgebundener Abwasserwärmenutzung sind Investitions- und Betriebskostenzuschüsse sehr wichtig. Die beteiligten Vertreter*innen von Stadtwerken betonten die Bedeutung der Bundesförderung für Effiziente Wärmenetze (BEW).

Um einen Einblick in den weiteren Verlauf möglicher Abwasserwärmenutzungsprojekte im Anschluss an die Projektinitiierungsgespräche zu erhalten, wurde im Beirat des Projekts eine erneute Kontaktaufnahme mit den jeweiligen Akteuren Ende 2022 oder in 2023 beschlossen. Neben der DWA BW spielt dabei das Kompetenzzentrum Wärmewende bei der KEA-BW eine wichtige Rolle.

5 Fazit und Ausblick

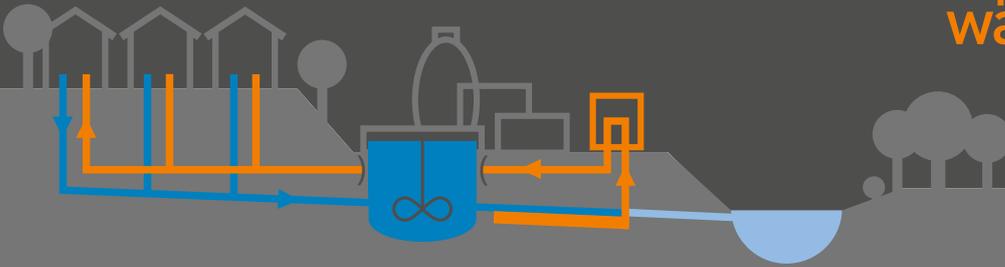
Die aktuellen Entwicklungen auf den Energiemärkten und die verstärkten politischen Klimaschutzbemühungen machen das Thema Abwasserwärmenutzung zunehmend interessant. Für Gebäudeeigentümer mit bestehender Gas- oder Ölheizung kann an vielen Orten durch den Ausbau von Wärmenetzen eine klimafreundlichere Alternative geschaffen werden. Dafür müssen nicht nur Wärmenetze ausgebaut werden, sondern auch verstärkt erneuerbare Wärmequellen für die Netze erschlossen werden. Die Nutzung von Abwasserwärme aus dem Auslauf von Kläranlagen stellt dabei einen wichtigen Baustein dar, mit dem die Wärmeerzeugung aus anderen erneuerbaren Energiequellen in entscheidendem Maß unterstützt bzw. ergänzt werden kann.

Mit der Studie wurden wichtige Erkenntnisse zur Quantifizierung des Potenzials von Abwasserwärmenutzung in Baden-Württemberg gewonnen. Die Analysen zeigen, dass ausgereifte technische Lösungen zur Erschließung des Potenzials bereitstehen. In naher Zukunft werden viele Konzepte zur Klimaneutralität von Kommunen – über Transformationspläne für Wärmenetze bis hin zu kommunalen Wärmeplänen – erarbeitet, bei denen die Abwasserwärmenutzung eine Rolle spielt. Es ist hier auf eine effiziente Kommunikation innerhalb der Verwaltung zu achten und dass die entsprechenden Akteure frühzeitig eingebunden werden. Darüber hinaus sollten die Mitarbeitenden von Kläranlagen und insbesondere kommunale Entscheidungsträger*innen aktiv für das Thema sensibilisiert werden.

Mit den Steckbriefen und der Checkliste wurden Informationsmaterialien für die weitere Verbreitung der Thematik „Abwasserwärmenutzung“ erstellt (Anhang I, Anhang II). Im Rahmen von Projektinitiierungsgesprächen wurden wichtige, konkrete Impulse zur Entwicklung von Nutzungskonzepten an sieben Kläranlagenstandorten gegeben. Als zentrale Anlaufstelle für Informationen zum Thema Abwasserwärmenutzung soll unter www.abwasserwaerme-bw.de eine Webseite eingerichtet werden.

6 Literaturverzeichnis

- Aachen, F. f.-u. (2013). *Potenziale und technische Optimierung der Abwasserwärmenutzung, Aktenzeichen IV-7-042 600 003C*. Aachen.
- AGFW. (2020). *Praxisleitfaden Großwärmepumpen*. Frankfurt.
- AGFW. (23. Juni 2022). *DESI - District Energy Systems*. Von <https://www.district-energy-systems.info/> abgerufen
- BMWK. (01. 08 2022). *Richtlinie für die Bundesförderung effiziente Wärmenetze*. Von Bundesanzeiger:
<https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/LqynJ78mbcSrTH7LL83/content/LqynJ78mbcSrTH7LL83/BAanz%20AT%2018.08.2022%20B1.pdf?inline> abgerufen
- DWA-M114. (2020). DWA-Regelwerk. Merkblatt DWA-M 114 Abwasserwärmenutzung. Hennef: DWA.
- EWB. (27. Oktober 2021). *Neckarpark Stuttgart gewinnt Nahwärme und -kälte aus dem Abwasserkanal*. Von <https://www.energiewendebauen.de/projekt/neckarpark-stuttgart-gewinnt-nahwaerme-und-kaelte-aus-dem-abwasserkanal> abgerufen
- FNR. (23. Juni 2022). *Bioenergiedörfer*. Von <https://bioenergiedorf.fnr.de/index.php?id=2116> abgerufen
- Fritz, S., & Pehnt, M. (2018). *Kommunale Abwässer als Potenzial für die Wärmewende?* Von https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/ifeu-bmu_Abwaermepotenzial_Abwasser_final_update.pdf abgerufen
- Joulia SA. (17. Juni 2022). *Duschen mit Wärmerückgewinnung*. Von <https://joulia.com/> abgerufen
- KEA-BW. (12 2020). *kommunale Wärmeplanung, Handlungsleitfaden*. (K. u.-W. Ministerium für Umwelt, Hrsg.) Von https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/mum/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Leitfaden-Kommunale-Waermeplanung-barrierefrei.pdf abgerufen
- KEA-BW. (2022). *Technikkatalog zur kommunalen Wärmeplanung*. Von <https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/kommunale-waermeplanung/technikkatalog> abgerufen
- Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg (KSG BW). (12. 10 2021). Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg (KSG BW). (L. Baden-Württemberg, Hrsg.)
- Kretschmer, F. (2 2022). Abwasserwärmenutzung aus ganzheitlicher Sicht. (DWA, Hrsg.) *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall*, S. 115-121.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2021). *Informationsblatt Klimaschutz-Plus: Erstberatung und Projektanbahnung bei Abwärmenutzung*. Von https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/mum/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimaschutz/F%C3%B6rderungsm%C3%B6glichkeiten/KlimaschutzPlus/Infoblatt/KS-Plus-2021-Infoblatt-Abwaerme-bf.pdf abgerufen
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (21. 02 2022). *Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg*. Abgerufen am 04. 03 2022 von Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimaschutz-in-baden-wuerttemberg/klimaschutzgesetz/>
- Müller, E., & Schmid, F. (2005). *Heizen und Kühlen mit Abwasser. Ratgeber für Bauherrschaften und Gemeinden*. (B. f. BFE, Hrsg.) Bern.
- Neugebauer, G., Kretschmer, F., Kollmer, R., Narodoslawsky, M., Ertl, T., & Stöglehner, G. (7 2015). Mapping Thermal Energy Resource Potenzial from Wastewater Treatment Plants. *Sustainability*, 12988-13010.
- SWR. (6. Mai 2022). *Pläne für Wasserstoff-Projekt in Mainzer Kläranlage einsehbar*. Von <https://www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/mainz/plaene-fuer-elektrolyseanlage-werden-offengelegt-100.html> abgerufen



STECKBRIEF.01

Abwasserwärmenutzung auf der Kläranlage Weinstadt

Weinstadt liegt in der Region Stuttgart. Die Kläranlage liegt in einem Gewerbegebiet des Stadtteils Endersbach und leitet das geklärte Abwasser in die Rems.

Die Stadtwerke Weinstadt betreiben aktuell Fernwärmenetze im Stadtgebiet mit einer Gesamtlänge von 6 Kilometern (blau hinterlegt). Aufgeteilt wird dies in die Netze Benzach, Endersbach West, und Halde V. Geplant ist die Verbindung der Netze. Der Wärmebedarf im Bestandsnetz liegt bei ca. 9.300 MWh pro Jahr. Dieser Bedarf könnte bis 2030 auf mehr als 20.000 MWh anwachsen.

Die Wärmeerzeugung erfolgt bisher überwiegend durch Kraft-Wärme-Kopplung mittels BHKW sowie Gaskessel. Abbildung 2 zeigt das Luftbild der Kläranlage mit der geplanten Wärme- und Stromerzeugung. Der geplante Netzausbau erfordert die Integration weiterer Erzeugungsleistung, die wie die Abwasserwärme aus erneuerbaren Energiequellen stammen soll.

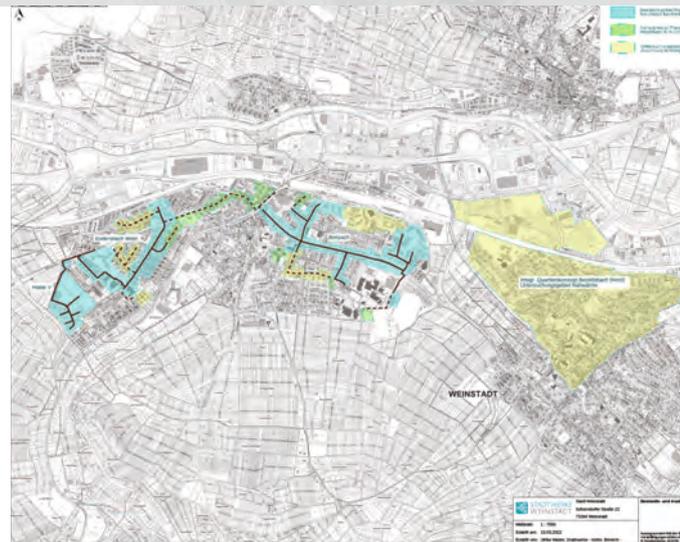


ABBILDUNG 1: BESTANDS- UND AUSBAUPLAN WÄRMENETZ WEINSTADT
(BILDQUELLE: ESRI/ARCGIS)



ABBILDUNG 2: LUFTBILD KLÄRANLAGE WEINSTADT MIT GEPLANTER ENERGIEUMWANDLUNG
(BILDQUELLE: ESRI/ARCGIS)

STANDORT**WEINSTADT (REGION STUTTGART)**

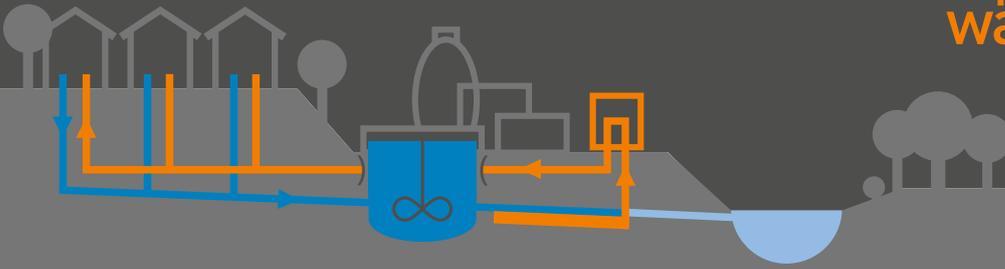
Name der Kläranlage	Kläranlage Weinstadt			
Kläranlagenbetreiber	Stadtentwässerung Weinstadt Eigenbetrieb Großheppacher Straße 72 71384 Weinstadt			
Ausbaugröße	95.000 Einwohnerwerte			
Größenklasse	4			
Angeschlossene Einwohner und Indirekteinleiter	Haushaltsabwässer | Gewerbe & Industrie			
Vorfluter	Schweizerbach/Rems			
Jahresabwassermenge	3,8 Mio. m ³ /a (2019)			
Abwassertemperatur während der Heizperiode (Oktober bis April)	Mittelwert: 10 °C Spanne: 8 °C bis 13 °C			
Reinigungsverfahren	Belebungsverfahren mit vorgeschalteter und intermittierender/simultaner Denitrifikation | chemisch-physikalische Phosphorelimination			
Schlammbehandlung	getrennt anaerobe Schlammstabilisierung mit beheiztem Faulraum | Schlamm-silo, -stapelräume, -eindicker | Kammerfilterpresse | externe Verbrennung			
Faulgasanfall	665.000 m ³ /a (Mittelwert 2017- 2019)			
Enthaltene Energiemenge in Faulgas	4.000 MWh/a (Mittelwert 2017 - 2019)			
Energieverbrauch der Anlage	Strom: 1.900 MWh/a (Mittelwert 2017- 2019) Wärme: 1.400 MWh/a (Mittelwert 2017- 2019)			
Installierte Energieumwandlungsanlagen	Anlage	BHKW 1 Faulgas	BHKW 2 Faulgas	Faulgas- / Heizölkessel
	Elektrisch [kW]	50	80	-
	Thermisch [kW]	85	140	240
Jährliche Stromerzeugung	BHKW: 1.030 MWh _{el} /a (Mittelwert 2017- 2019)			
Jährliche Wärmeerzeugung	BHKW: 1.750 MWh _{th} /a (Mittelwert 2017- 2019) Heizkessel: 50 MWh _{th} /a (Mittelwert 2017- 2019)			

WÄRMEERZEUGUNG

Wärmeüberschuss aus Faulgasnutzung	400 MWh _{th} /a
Während der Heizperiode mittlerer kontinuierlicher Abwasserzufluss	280 m ³ /h (78 l/s)
Potenzial der Wärmepumpenheizleistung bei 5 K Abkühlung (JAZ=2,8)	2,5 MW _{th}
Geplante Wärmepumpenheizleistung	1,5 MW _{th}
Geplante Erzeugungsmenge	7.500 MWh _{th} /a
Investitionskosten	Investitionskosten: 3.165.000 € Investitionskosten abzüglich 40 % BEW-Förderung: 1.895.000 €

WÄRMENETZ

Betreiber	Stadtwerke Weinstadt
Bestehende Wärmenetze	Trassenlänge von 6 km | Versorgt werden sowohl Gebiete mit großen Mehrfamilienhäusern als auch Neubaugebiete
Aktueller Wärmebedarf	9.300 MWh _{th} /a
Bestehende Hausanschlüsse	105
Betriebstemperatur	80 °C bis 85 °C
Bestehende Wärmeerzeugung	Überwiegend Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung
Geplante Maßnahmen	Verbindung der Bestandsnetze
Ausbauperspektive bis 2030	> 20.000MWh _{th} /a



STECKBRIEF.02

Abwasserwärmenutzung auf der Kläranlage Tübingen

Die Kläranlage liegt im Osten der Stadt, nahe des bestehenden Fernwärmenetzes Alte Weberei, südlich des Neckars und behandelt das Abwasser von 110.000 Einwohnern sowie von Industrie, Universität und Kliniken.

In Tübingen sind Wärmenetze mit einer insgesamt Trassenlänge von 57 km vorhanden (vgl. Abbildung 1). Die Zahl der bestehenden Hausanschlüsse beträgt 1.600, die einen Wärmebedarf von 140.000 MWh/a haben. Die jetzige Energieumwandlung erfolgt größtenteils basierend auf erdgasbetriebener Kraft-Wärme-Kopplung. Bis 2030 haben die Stadtwerke das Ziel, 70 % der Wärme erneuerbar zu erzeugen. Dafür müssen mehrere erneuerbare Wärmequellen erschlossen werden. Um die Transformation aller Wärmenetze zu erneuerbarer Wärmeerzeugung zu ermöglichen, ist es geplant, mehrere Wärmenetze zu verbinden. Im Zuge der Verbindung der Wärmenetze Innenstadt, Südstadt und Alte Weberei ist zudem die Erweiterung der Wärmenetze und der Anschluss weiterer Abnehmer geplant.

Ein Teilstrom des gereinigten Abwassers wird im Bypass nach der 4. Reinigungsstufe entnommen und über eine nicht isolierte Rohrleitung zur Energiezentrale befördert. In der Energiezentrale wird das Abwasser im Wärmetauscher über eine mehrstufige Wärmepumpe abgekühlt. Das abgekühlte Abwasser wird über eine weitere nicht isolierte Rücklaufleitung in den Ablauf der Kläranlage eingeleitet (vgl. Abbildung 2).

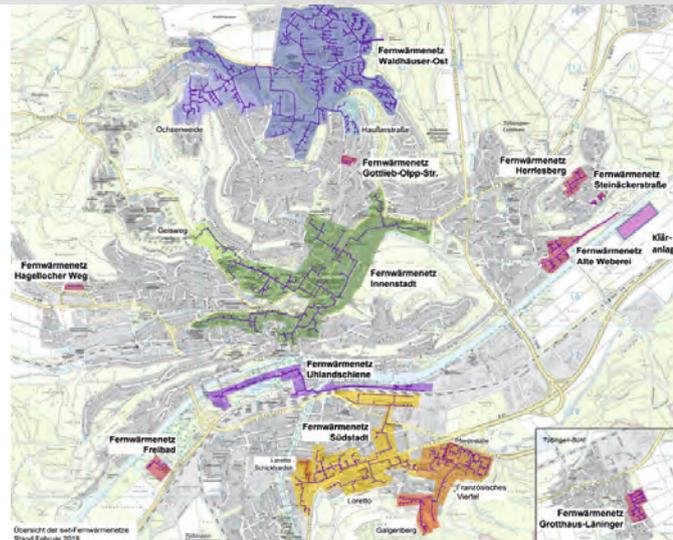


ABBILDUNG 1: ÜBERSICHT DES WÄRMENETZES TÜBINGEN



ABBILDUNG 2: GEPLANTE TECHNISCHE UMSETZUNG DER ABWASSERWÄRME NUTZUNG (BILDQUELLE: ESRI/ARCGIS)

STANDORT**TÜBINGEN (MITTLERES NECKARTAL)**

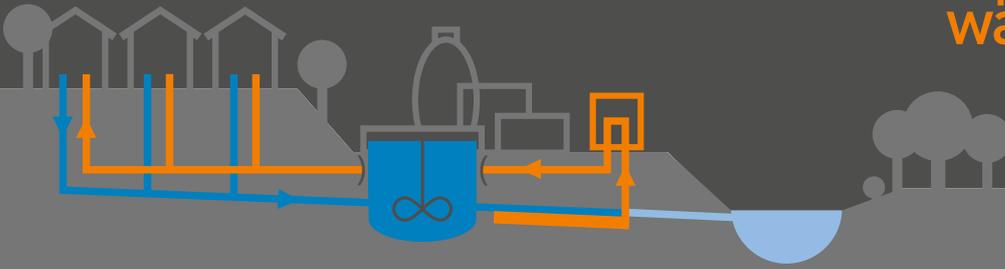
Name der Kläranlage	Kläranlage Tübingen					
Kläranlagenbetreiber	Kommunale Servicebetriebe Tübingen Nürtinger Straße 120 72074 Tübingen					
Ausbaugröße	137.500 Einwohnerwerte					
Größenklasse	5					
Angeschlossene Einwohner und Indirekteinleiter	Haushaltsabwässer: 110.000 Einwohner | Universität | Kliniken | Gewerbe & Industrie					
Vorfluter	Neckar					
Jahresabwassermenge	13,1 Mio. m ³ /a (2018)					
Abwassertemperatur während der Heizperiode (Oktober bis April)	Mittelwert: 11 °C Spanne: 9 °C bis 13 °C					
Reinigungsverfahren	Belebungsverfahren mit vorgeschalteter Denitrifikation und chemisch-physikalischer Phosphorelimination, Ozonierung, Sandfilter					
Schlammbehandlung	getrennt anaerobe Schlammstabilisierung mit beheiztem Faulraum | Zentrifuge | externe Verbrennung					
Faulgasanfall	1.345.000 m ³ /a (Mittelwert 2015-2020)					
Enthaltene Energiemenge in Faulgas	7.000 MWh/a (2020)					
Volumen des Faulgasspeichers	1.000 m ³					
Energieverbrauch der Anlage	Strom: 4.000 MWh _{el} /a (Hochrechnung inkl. 4. Reinigungsstufe) Wärme: 2.800 MWh _{th} /a (2020)					
Installierte Energieumwandlungsanlagen	Anlage	BHKW 1	BHKW 2	BHKW 3	Faulgaskessel	PV-Anlage
	Elektrisch [kW]	210	167	167	–	50 kWp
	Thermisch [kW]	213	235	235	810	–
Jährliche Stromerzeugung	BHKW-Anlage: 2.500 MWh _{el} /a (2020, inkl. Anteil Erdgasnutzung) Deckung Strombedarf durch PV-Anlage: 40 MWh _{el} /a					
Jährliche Wärmeerzeugung	BHKW-Anlage: 3.700 MWh _{th} /a (2020, inkl. Anteil Erdgasnutzung) Heizkessel: 400 MWh _{th} /a (2020)					

WÄRMEERZEUGUNG

Wärmeüberschuss aus Faulgasnutzung	1.100 MWh _{th} /a (2020, inkl. Brennwertwärmetauscher)		
Mittlerer, während der Heizperiode kontinuierlich verfügbarer Abwasserzufluss	1000 m ³ /h (278 l/s)		
Geplante Technik zur Abwasserwärmenutzung	mehrstufige Abwasserwärmepumpe mit Entnahme des gereinigten Abwassers (im Bypass)		
Wärmepumpenheizleistung bei 5 K Abkühlung (JAZ=2,8)	Ausbaustufe 1: 6 MW _{th} Ausbaustufe 2: 3 MW _{th}		
Wärmemenge aus Abwasserheizzentrale	Ausbaustufe 1: 42.000 MWh _{th} /a Ausbaustufe 2: 63.000 MWh _{th} /a		
Investitionskosten	Investitionskosten	Investitionskosten	Investitionskosten abzüglich 40 % BEW-Förderung
	Ausbaustufe 1:	16.288.000 €	9.773.000 €
	Ausbaustufe 2:	4.514.000 €	2.708.000 €

WÄRMENETZ

Betreiber	Stadtwerke Tübingen
Bestehendes Wärmenetz	Aufteilung in sieben Einzelnetze mit einer gesamten Trassenlänge von 61 km, städtisch geprägte Siedlungsstruktur
Aktueller Wärmebedarf	150.000 MWh _{th} /a
Bestehende Hausanschlüsse	1.600
Betriebstemperaturen	Vorlauftemperaturen teilweise > 100 °C, Absenkung im Zuge der Transformation geplant
Bestehende Wärmeerzeugung	Erdgasbetriebene Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, Kraft-Wärme- Kopplungsanlage mit Faulgasbetrieb, Abwärme aus Industrieanlagen und Gaskessel
Geplante Maßnahmen	Verbindung der Bestandsnetze, 70 % erneuerbare Wärme bis 2030
Ausbauperspektive bis 2030	300.000 MWh _{th} /a
Geplante Umsetzung	2025: Ausführung Ausbaustufe 1 2028: Erweiterung Ausbaustufe 2



STECKBRIEF.03

Abwasserwärmenutzung auf der Kläranlage Altensteig

Bisher gibt es noch kein Wärmenetz in direkter Nähe zur Sammelkläranlage Altensteig. Es wird ein Konzept für ein neues Nahwärmenetz zur Wärmeversorgung des nahegelegenen Teilorts Berneck aus einer Heizzentrale auf dem Gelände der Kläranlage beschrieben. Das mögliche Wärmenetz zur Versorgung des Teilorts Berneck ist in Abbildung 1 dargestellt.

Neben der überschüssigen Wärme des Faulgas-BHKW soll auch die aus dem Abwasser gewonnene Wärme in das geplante Wärmenetz des Stadtteils Berneck eingespeist werden. Es wird dazu eine Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 300 kW vorgesehen. Die Wärmepumpe wird nur von September bis April betrieben, da in den Sommermonaten (Mai bis August) die nicht benötigte Wärme aus dem Faulgas-BHKW den Wärmebedarf für das konzipierte Wärmenetz vollständig decken kann. Abbildung 2 zeigt das Luftbild der Kläranlage Altensteig mit den geplanten Komponenten für die Abwasserwärmerückgewinnung.

ABBILDUNG 1:
ÜBERSICHT DES MÖGLICHEN WÄRMENETZES ZUR VERSORGUNG
DES TEILORTS BERNECK (BILDQUELLE: ESRI/ARCGIS)

ABBILDUNG 2:
LUFTBILD UND BESTANDTEILE KLÄRANLAGE ALTENSTEIG
(BILDQUELLE: ESRI/ARCGIS)



ABBILDUNG 1

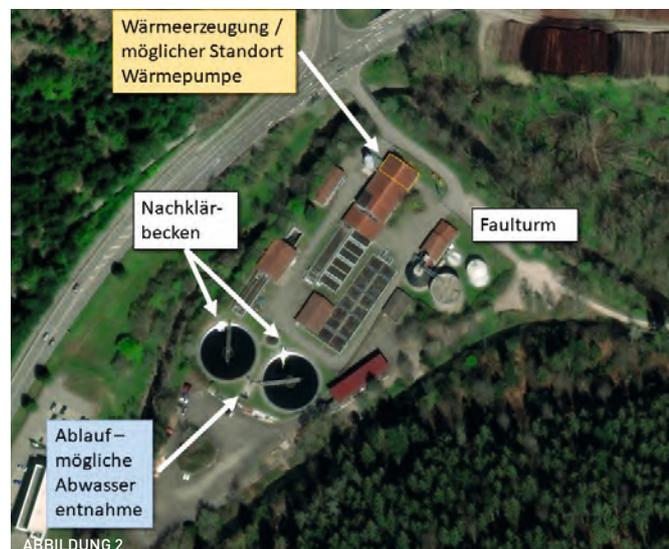


ABBILDUNG 2

STANDORT**ALTENSTEIG (NORDSCHWARZWALD)**

Name der Kläranlage	Sammelkläranlage Altensteig		
Kläranlagenbetreiber	Abwasserzweckverband Sammelkläranlage Altensteig Nagolder Straße 70 72213 Altensteig		
Ausbaugröße	34.000 Einwohnerwerte		
Größenklasse	4		
Angeschlossene Einwohner und Indirekteinleiter	Haushaltsabwässer | Gewerbe & Industrie		
Vorfluter	Nagold		
Jahresabwassermenge	3,1 Mio. m ³ /a		
Abwassertemperatur während der Heizperiode (Oktober bis April)	Mittelwert: 7 °C Spanne: 6 °C bis 12 °C		
Reinigungsverfahren	Belebung mit intermittierender/simultaner Denitrifikation und chemisch-physikalischer P-Elimination		
Schlammbehandlung	beheizter Faulraum | Stapelsilo,-stapelräume, -eindicker | Zentrifuge (Dekanter) | Anschließende externe Verbrennung		
Faulgasanfall	480.000 m ³ /a (Auswertung 2018-2020, geplante Optimierung)		
Energiemenge aus Faulgas	2.900 MWh/a (Hochrechnung)		
Energieverbrauch der Anlage	Strom: 984 MWh/a (2019) Wärme: 780 MWh/a (Hochrechnung)		
Installierte Energieumwandlungsanlagen	Anlage	Faulgas-BHKW	Faulgas-/Heizölkessel
	Elektrisch [kW]	155	-
	Thermisch [kW]	166	295
Jährliche Stromerzeugung	960 MWh _{el} /a (Hochrechnung)		
Jährliche Wärmeerzeugung	1.240 MWh _{th} /a (Hochrechnung)		

WÄRMEERZEUGUNG

Wärmeüberschuss aus Faulgasnutzung	550 MWh _{th} /a (Abschätzung)
Während der Heizperiode mittlerer kontinuierlicher Abwasserzufluss	320 m ³ /h (89 l/s)
Potenzial der Wärmepumpenheizleistung bei 3 K Abkühlung (JAZ=2,8)	1.700 kW _{th}
Geplante Technik zur Abwasserwärmenutzung	Behälterabwasserwärmetauscher mit Entnahme des gereinigten Abwassers (im Bypass)
Wärmepumpenheizleistung	300 kW _{th}
Wärmemenge aus Abwasser	750 MWh _{th}
Investitionskosten	Investitionskosten: 525.000 € Investitionskosten abzüglich 40 % BEW-Förderung: 315.000 €

WÄRMENETZ**KEIN BESTANDSNETZ IM TEILORT BERNECK VORHANDEN**

Möglicher Betreiber	Stadtwerke Altensteig
Planungsstand Wärmenetz	Versorgungsgebiet Berneck | 2 km Wärmeleitung Siedlungsstruktur mit vorwiegend Einfamilienhäusern
Voraussichtlicher Wärmebedarf	1.340 MWh _{th} /a
Geplante Hausanschlüsse	23
Betriebstemperaturen	70 °C bis 80 °C
Bestehende Wärmeerzeugung	Gebäude mit Einzelheizungen
Konzept zur Nutzung der Abwasserwärme	Aufbau Wärmenetz Teilort Berneck



Liste der einzubindenden Akteurinnen und Akteure

Die Etablierung der Nutzung von Abwasserwärme ist eine interdisziplinäre Aufgabe, bei der die Themenfelder Energie- und Wärmeversorgung, Klimaschutz, Stadtplanung und Stadtentwässerung ineinandergreifen. Folglich sind frühzeitig alle Akteure¹ dieser Themenfelder in die Planungen zu integrieren.

Untenstehend erhalten Sie eine Auflistung der potenziellen Akteure, welche in die Planungen der Abwasserwärmenutzung integriert werden sollten:

1. Kommunale Entscheidungsträger
 - Bürgermeister und Gemeinderat
2. Energie- und Wärmeversorgung
 - Stadtwerke (Infrastruktur, Planung und Bau etc.)
 - Energiemanager der Stadt
 - Nah- und Fernwärmenetzbetreiber
 - Energieversorgungsunternehmen
 - Amt für Umweltschutz, Abteilung Energiewirtschaft
 - Mögliche Energieabnehmer
3. Stadtplanung
 - Dezernat Stadtentwicklung
 - Fachbereich Stadtplanung
 - Stadtbauamt (z.B. Tief- und Straßenbau)
 - Quartiersmanagement, Stadtteilmanagement

¹ Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird generell im Text die männliche Form gewählt. Selbstverständlich beziehen sich die Angaben auf Angehörige aller Geschlechter.



4. Klimaschutz

- Stabsstelle Klima und Energie / Klimaschutz der Stadtverwaltung
- Amt für Umweltschutz, Abteilung Klimaschutz
- Klimaneutralitätsbeauftragte, Klimaschutzbeauftragter (Stadtverwaltung)
- Umweltschutzbeauftragter

5. Abwasserbehandlung

- Tiefbauamt
- Stadtentwässerung
- Abwasserbetrieb
- Eigenbetrieb Stadtentwässerung / Abwasserentsorgung
- Zweckverband / Betreiber der Kläranlage
- (technische) Betriebsleitung der Stadtentwässerung / Kläranlage
- Werkleiter evtl. mit Betriebspersonal der Kläranlage

6. Sonstige

- mit der kommunalen Wärmeplanung befasste Fachabteilungen innerhalb der Verwaltung
- beauftragte Planungs- und Ingenieurbüros, welche sich derzeit mit der kommunalen Wärmeplanung beschäftigen
- Interessensvertretungen wie Energiesparverbände
- Bürgerenergiegenossenschaften



In Tabelle 1 ist die Checkliste zum Eintrag der einzubindenden Akteure für die jeweiligen Bereiche dargestellt. Hierin können Ansprechpartner aufgeführt werden, welche im Rahmen der Planung der Abwasserwärmenutzung kontaktiert werden.

Tabelle 1: Vorlage Liste der einzubindenden Akteure

	Name	Position	Organisation	Adresse	Telefonnummer	E-Mail
1. Kommunale Entscheidungsträger						
2. Energie- und Wärmeversorgung						
3. Stadtplanung						
4. Klimaschutz						
5. Entwässerung und Abwasserbehandlung						
6. Sonstige						



Erfolgsfaktoren und Hemmnisse² für die Etablierung einer Abwasserwärmenutzung

Erfolgsfaktoren

- Frühestmöglicher Beginn der Planung und Einleitung erster Schritte.
- Management der Akteure auf lokaler (örtlicher) Ebene: Alle betroffenen Akteure sollten baldmöglichst identifiziert werden und in den gemeinsamen Planungsprozess eingebunden werden.
- Einbindung von und Abstimmung mit weiteren Strategieentwicklungen auf kommunaler Ebene (kommunale Wärmeplanung, Klimaschutzkonzepte, Nachhaltigkeitskonzepte etc.).
- Zeitliche Passung von Erschließung eines Gebietes/Quartiers mit Fernwärme und der Installation der Abwasserwärmenutzung.
- In Neubaugebieten und bei Straßenbau/Tiefbauarbeiten durch die Verlegung von Leerleitungen und Provisorien Fernwärmenetze bereits vorsehen und dadurch Gebiet als Wärmesenke zur späteren Nutzung der Abwasserwärme sichern.
- Frühzeitige und zielgerichtete Information der Bevölkerung (Emotionen wecken; Kommunikation von guten Entwicklungen).
- Erfahrene Planer auf Abwasser- und Wärmeseite von Beginn an in Projekt involvieren.
- Einbindung von Contractoren (auch in Form einer genossenschaftlichen Gesellschaft). Dieser kann als Treiber tätig sein (Werbung um anschlusswillige Kunden).

² Diese Erfolgsfaktoren & Hemmnisse wurden in Zusammenarbeit mit Herrn Beat Kobel (Geschäftsführer Ryser Ingenieure AG) im Rahmen seines Vortrages „Abwasserrückgewinnung in der Schweiz – Erfolgsfaktoren, Hemmnisse und Erfahrungen“ während der Beiratssitzung am 05.10.2021 zusammengestellt.



- Bereitschaft der Umstellung von fossilen Brennstoffen auf Fernwärme durch eine Absichtserklärung bei Schlüsselkunden sichern (Kundenbindung insbesondere bei Neubauten und Aufstellen von Provisorien, bis Verzögerungen oder endgültiger Anschluss an Wärmequelle etabliert ist; Neukunden sollten sich nicht für eine andere Wärmequelle entscheiden).
- Wärmeüberschüsse aus dem BHKW auf Kläranlagen sollten mitgenutzt werden.
- Wärme im Abwasser sollte gratis zur Verfügung gestellt werden.
- Einwandfrei funktionierende Vorzeiganlage beweist Erfolg und motiviert Kunden, sich der Abwasserwärmenutzung anzuschließen.
- Finanzielle Anreize von Bund, Land und Stadt nutzen.

Hemmnisse:

- Platzangebot und Einbindung auf Kläranlage (Trassenführung, Heizzentrale).
- Hohe Temperaturanforderungen im Wärmenetz: Temperaturen $>90^{\circ}\text{C}$ können Wärmepumpen nur ineffizient bereitstellen.
- Die Einkopplung von Wärme aus Abwasser in bestehende Wärmenetze steht in Konkurrenz zu bestehenden Fernwärmeerzeugern.
- Der Ausbau von Wärmenetzen steht in Konkurrenz zu anderen Heizungssystemen. Insbesondere bei etablierten Gasverteilnetzen ist eine aktive Geschäftsfeldentwicklung Richtung Wärmenetzausbau und Reduktion der Gasvermarktung seitens Energieversorgungsunternehmen erforderlich.
- Gelegenheiten zum Anschluss von Wärmenetzkunden und zum Netzausbau und zur Installation der Abwasserwärmenutzung stimmen nicht überein. Schlüsselkunden können sich gegen eine Nutzung des Fernwärmenetzes bzw. der Abwasserwärme entscheiden und so die Wirtschaftlichkeit eines Projektes negativ beeinflussen.