

# Potenzial der Abwasserwärmenutzung aus dem Auslauf von Kläranlagen

## Lokalisierung von Standorten in Baden-Württemberg

Sebastian Blömer (Heidelberg), Benjamin Schoor (Bietigheim-Bissingen), Peter Baumann, Julia Keller, Werner Maier, Kathrin Münch, Tobias Reinhardt (Stuttgart)

### Zusammenfassung

Mit der Novelle des Klimaschutzgesetzes hat sich das Land Baden-Württemberg zum Ziel gesetzt, bis 2040 Klimaneutralität zu erreichen. Durch die Erstellung eines kommunalen Wärmeplans bis Ende 2023 soll in den Stadtkreisen und großen Kreisstädten Baden-Württembergs ein strategischer Planungsprozess etabliert werden, der lokale Maßnahmen zum Erreichen einer klimaneutralen Wärmeversorgung bis 2040 beinhaltet. Zusätzlich zur Biomasse, Geothermie, Solarthermie und Wärmegewinnung aus der Umgebungsluft kommen auch Abwasser und Faulgas als erneuerbare Energieträger für den Wärmesektor in Frage. In Baden-Württemberg fehlte bisher eine flächendeckende Untersuchung der Potenziale zur Abwasserwärmenutzung sowie die Sensibilisierung aller betroffener Akteure. Infolgedessen hat der DWA-Landesverband Baden-Württemberg mit Unterstützung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu, Heidelberg) und der IBS Ingenieurgesellschaft mbH (Bietigheim-Bissingen) im Rahmen einer Studie verschiedene Kernpunkte zum Thema „Abwasserwärmenutzung aus dem Auslauf von Kläranlagen in Baden-Württemberg“ bearbeitet.

**Schlagwörter:** Abwasserreinigung, kommunal, Energie, Klimaneutralität, Kläranlage, Abwasserwärme, Auslauf Wärmenutzung

DOI: 10.3242/kae2023.02.003

### Abstract

**Potential for water heat recycling from wastewater treatment plant effluent**

### Localisation of sites in Baden-Württemberg

The German State of Baden-Württemberg has set itself the goal of becoming climate neutral by 2040 in its revised Climate Protection Act. A strategic planning process is to be established in urban districts and large district towns of Baden-Württemberg that includes local measures to achieve climate-neutral heat supply by 2040 by drawing up a municipal heating plan by the end of 2023. Along with biomass, geothermal energy, solar thermal energy and heat generation from ambient air, possible renewable energy sources for the heating sector include wastewater and digester gas. Until now, Baden-Württemberg has not performed a universal analysis of the potential for water heat recycling, nor have there been efforts to raise awareness among all stakeholders. As a result, the DWA Regional Association for Baden-Württemberg has worked with the support of the Baden-Württemberg Ministry for the Environment, Climate and Energy Management and in cooperation with the Institute for Energy and Environmental Research (ifeu, Heidelberg) and IBS Ingenieurgesellschaft mbH (Bietigheim-Bissingen) on various key elements related to water heat recycling from the effluent of wastewater treatment plants in Baden-Württemberg in a study.

**Keywords:** wastewater treatment, municipal, energy, climate neutrality, wastewater treatment plant, water heat, effluent heat recycling

## 1 Einleitung

Mit der Novelle des Klimaschutzgesetzes hat sich das Land Baden-Württemberg zum Ziel gesetzt, bis 2040 die Klimaneutralität zu erreichen [1, 2]. Private Haushalte sind in Baden-Württemberg für etwa ein Drittel des Endenergieverbrauchs verantwortlich und haben durch die vor allem im Bereich der Wärmeversorgung bestehende Dominanz fossiler Energieträger einen erheblichen Anteil an den energiebedingten Treibhausgasemissionen [3]. Aus diesem Grund und in Anbetracht von möglichen Versorgungsempässen und Preisentwicklungen bei fossilen Rohstoffen ist es von großer Bedeutung, einerseits lokale Energiesparpotenziale zu identifizieren und andererseits erneuerbare Wärmequellen zu erschließen.

Durch die Erstellung eines kommunalen Wärmeplans bis Ende 2023 soll in den Stadtkreisen und großen Kreisstädten Baden-Württembergs ein strategischer Planungsprozess etabliert werden, der lokale Maßnahmen zum Erreichen einer klimaneutralen Wärmeversorgung bis 2040 beinhaltet [1]. Zusätzlich zur Biomasse, Geothermie, Solarthermie und Wärmegewinnung aus der Umgebungsluft kommen auch Abwasser und Faulgas als erneuerbare Energieträger für den Wärmesektor in Frage [4]. Neben der Strom- und Wärmezeugung aus Faulgas erscheint die Nutzung von Abwasserwärme als vielversprechende, regenerative Wärmequelle [5, 6]. Die Abwasserwärme kann mittels Wärmepumpen entzogen und in ein

lokales Wärmenetz eingespeist werden. Voraussetzung für die Erschließung des Wärmepotenzials ist jedoch der weitere Ausbau von Nah- und Fernwärmenetzen.

In Baden-Württemberg fehlte bisher eine flächendeckende Untersuchung der Potenziale zur Abwasserwärmenutzung sowie die Sensibilisierung aller betroffener Akteure. Infolgedessen hat der DWA-Landesverband Baden-Württemberg mit Unterstützung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu, Heidelberg) und der IBS Ingenieurgesellschaft mbH (Bietigheim-Bissingen) im Rahmen einer Studie verschiedene Kernpunkte zum Thema „Abwasserwärmenutzung aus dem Auslauf von Kläranlagen in Baden-Württemberg“ bearbeitet.

Mithilfe standortspezifischer Daten aus dem DWA-Leistungsnachweis 2019, dem ifeu-Wärmeatlas [7] und nacherhobener lokaler Daten wurde im Rahmen einer GIS-Analyse das landesweite Nutzungspotenzial für Abwasserwärme im Auslauf der Kläranlagen bestimmt. An drei ausgewählten Kläranlagenstandorten fand zudem eine Analyse der technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen statt, die als Anhaltspunkt für eine erste Potenzialbewertung an vergleichbaren Standorten dienen soll. Weiterhin wurden Vertreterinnen und Vertreter lokaler Akteure im Rahmen von Initialgesprächen an sieben Standorten über deren lokale Einsatzmöglichkeiten der Abwasserwärmenutzung informiert. Das Wärmepotenzial für die jeweiligen Standorte wurde nach Merkblatt DWA-M 114 [8] ermittelt. Um dieses bestehende Wärmepotenzial schnellstmöglich nutzen zu

können, wurden den Akteuren Informationen zur Projektanbahnung zur Verfügung gestellt.

## 2 Funktionsprinzipien

### 2.1 Allgemeines

Neben der Abwasserwärmenutzung im Gebäude oder in der Kanalisation ist die Abwasserwärmenutzung aus dem Auslauf der Kläranlage, das heißt aus dem gereinigten Abwasser, eine Wärmequelle mit großem Potenzial. Das gereinigte Abwasser als Wärmequelle hat gegenüber der Abwärmenutzung im Abwasserkanal eine Reihe von Vorteilen:

- Das Abwasser eines gesamten Einzugsgebiets kann zur Abwärmenutzung herangezogen werden. Folglich kann oft ein potenziell größeres Wärmepotenzial erschlossen werden als in einzelnen Abwasserkanälen.
- Die Abwassertemperatur unterliegt geringeren Schwankungen.
- Die Wahrscheinlichkeit der Verschmutzung der Wärmetauscher ist geringer, da diese nur mit gereinigtem Abwasser in Berührung kommen.
- Es findet keine negative Beeinflussung der biologischen Reinigung durch die Abkühlung des Abwassers statt.

Da sich Kläranlagen meist in Außengebieten der Siedlungsgebiete und somit der potenziellen Abnehmer befinden, ist meist



Abb. 1: Wärmetauscher im Gerinne zum Vorfluter (Foto: IBS, eigene Abbildung, Kläranlage Ingolstadt)

eine längere Wärmeleitung bis zu einem möglichen Wärme-Einspeisepunkt notwendig [8].

In den meisten Fällen stehen im Auslauf der Kläranlage ganzjährig Abwassertemperaturen von über 8 °C zur Verfügung. Die Auslegung der Wärmequelle erfolgt üblicherweise basierend auf einer Abkühlung des Abwassers um 3 K bis 5 K. Bei höheren Abwassertemperaturen können auch größere Spreizungen realisiert werden. Ein limitierender Faktor ist die minimale Abwassertemperatur im Auslauf der Kläranlage von 4 °C. Grund hierfür ist die Vermeidung des Einfrierens des ge-



Abb. 2: Externer Wärmetauscher im Behälter (Foto: IBS, eigene Abbildung, Haus der Geschichte Regensburg)

reinigten Abwasserstroms. Auch sind keine negativen Auswirkungen einer Einleitung kühleren Abwassers auf das Gewässer bekannt (vgl. [8]). Eine Einschränkung der Wärmeentnahme aufgrund einer gesetzlich vorgegebenen minimalen Einleittemperatur in das Gewässer ist unüblich und in der Oberflächengewässerverordnung auch nicht vorgesehen. Bei einem Wärmeentzug auch über den Sommer kann die Reduktion der Wärmefracht in die Gewässer zudem zu positiven Effekten hinsichtlich des Erhalts und Erlangens des guten ökologischen Zustands beitragen.

Für die Erschließung des Abwärmepotenzials sind sowohl die Wärmergewinnungsanlage für den Entzug thermischer Energie aus dem Abwasser als auch die Wärmenutzungsanlage erforderlich, um die aus dem Abwasser gewonnene Wärmemenge mittels Wärmepumpe für Raumheizung und Warmwasseraufbereitung zur Verfügung zu stellen.

## 2.2 Wärmergewinnungsanlage

### 2.2.1 Wärmetauscher im Gerinne oder Vorfluter

Der Wärmetauscher wird direkt in ein Gerinne oder in den Auslauf der Kläranlage (zum Gewässer) eingesetzt, sodass das Abwasser diesen direkt ohne Pumpeneinsatz überströmt. Bei ausreichend großen Kanaldurchmessern können Wärmetauscher in bestehende Kanäle eingebaut werden. Gegebenenfalls kann der Einbau im Bypass in Form eines separaten Schachtbauwerks erfolgen (Abbildung 1).

Ablagerungen von Schmutz oder das Festsetzen von Fremdkörpern wirken sich negativ auf die Übertragungsleistung des Wärmetauschers aus. Selbst sehr weitgehend geklärtes Wasser kann die Bildung eines Biofilms verursachen. Aus diesem Grund ist eine regelmäßige Reinigung beispielsweise in Form einer automatisierten, mechanischen Reinigung notwendig. Diese kann z.B. über einen Schaber erfolgen, der die Wärmeübertragerflächen vom Biofilm befreit.

### 2.2.2 Externe Wärmetauscher

Extern aufgestellte Wärmetauscher bieten sich an, wenn die Einbindung in einem Klärbecken oder Auslaufkanal nicht möglich ist. Dieses System bedarf zusätzlicher Abwasserleitungen



Abb. 3: Externer Rohrbündel-Wärmetauscher (Foto: B. Kobel, Rysler Ingenieure AG, Bern, entnommen aus [8])

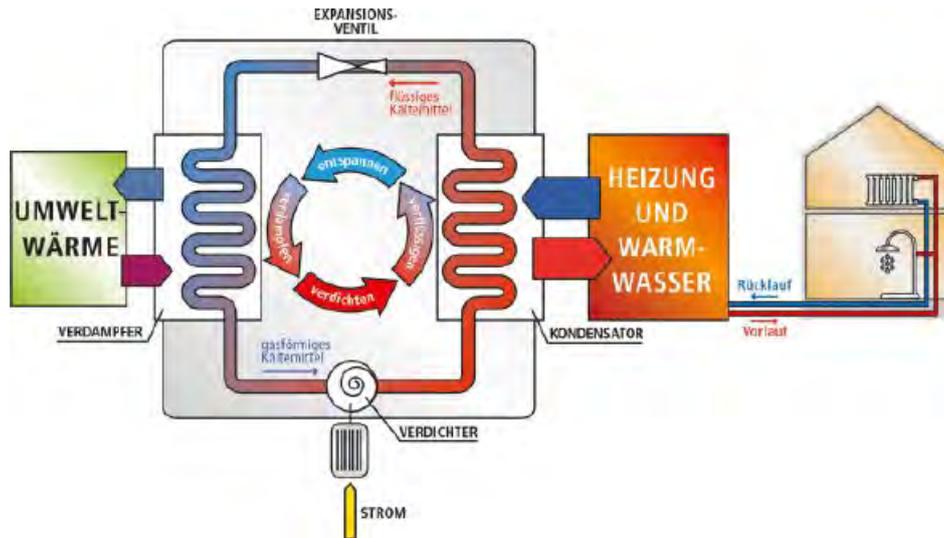


Abb. 4: Der Wärmepumpen-Kreislaufprozess [9]

und Pumpen. Durch die zwangsweise Umwälzung des Abwassers ergeben sich im Vergleich zum frei umströmten Wärmetauscher 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 als mit Abwasser durchströmte Behälter oder als Rohrbündel-Wärmetauscher ausgeführt werden (Abbildungen 2 und 3).

### 2.3 Wärmenutzungsanlage bzw. Wärmepumpe

Die zweite Komponente zur Nutzung der Abwasserwärme ist eine Wärmepumpe. Das Wirkprinzip einer Wärmepumpe ist mit der einer Kältemaschine oder eines Kühlschranks vergleichbar. Einem Medium wird Energie auf niedrigem Temperaturniveau entzogen und durch Einsatz von Antriebsenergie (in der Regel elektrischer Strom) auf das Temperaturniveau der entzogenen Energie soweit angehoben, dass diese an ein Medium auf höherer Temperatur abgegeben werden kann. Dabei wird das Medium in verschiedene Zustände versetzt. Der Wärmepumpenprozess besteht aus einem Niederdruck- sowie Hochdruckbereich und lässt sich entsprechend seiner Hauptkomponenten in vier Schritte aufgliedern (in Abbildung 4: links beginnend gegen den Uhrzeigersinn):

#### Verdampfen – Verdichten – Verflüssigen – Entspannen

Der Unterschied besteht darin, dass bei der Kältemaschine die entzogene Energie (Kälteerzeugung) und bei der Wärmepumpe die abgegebene Energie (Heizwärme) als Nutzenergie betrachtet wird. Der größere Teil der nutzbaren Heizwärme kommt aus der Wärmequelle, der kleinere Teil von der Antriebsenergie der Wärmepumpe.

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 zwei Dritteln aus der Wärmequelle und zu einem Drittel aus der Antriebsenergie (Strom) kommt. Je größer der Wert des COP, desto höher die Effizienz.

Die Effizienz einer Wärmepumpe hängt wesentlich vom Temperaturniveau der Wärmequelle sowie der benötigten Heizungsvorlauf-temperatur 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 5 ist der COP einer beispielhaften Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Heizungsvorlauf-temperatur  $T_{VL}$  bei verschiedenen Quellentemperaturen  $T_{Quelle}$  dargestellt. Der COP erreicht bei typischen Heizungsvorlauf- und Quellentemperaturen Werte zwischen 2,0 und 4,0. Bei erforderlichen Vorlauf-temperaturen von 80 °C und mehr kommen mehrstufige Wärmepumpen zum Einsatz.

### 2.4 Potenzielle Wärmeentzugs- bzw. Heizleistung

Anhand der folgenden Formeln wird die nutzbare Wärmeentzugsleistung aus dem Abwasser (1) und eine potenzielle Ein-

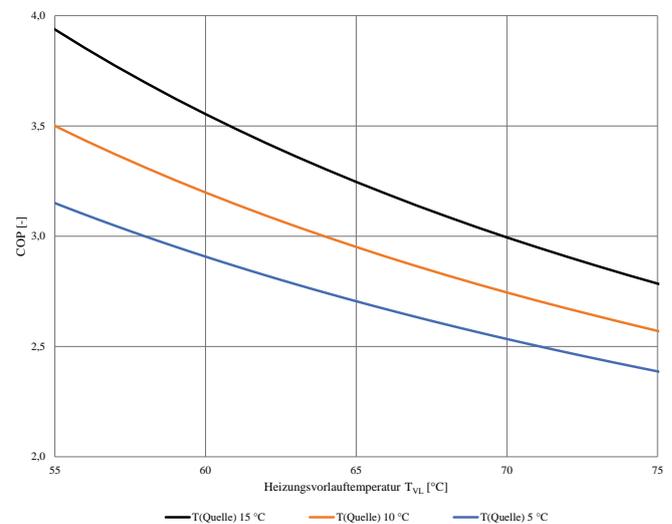


Abb. 5: COP einer Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Heizungsvorlauf- und Wärmequellentemperatur

	Kategorie I (Wärmenetz ≥ 50 GWh/a)	Kategorie II (Wärmenetz < 50 GWh/a)	Summe
Anzahl Standorte	18	240	258
Einspeisekapazität (MW <sub>th</sub> )	168	369	537
Einspeisemenge (GWh/a)	1350	2394	3744

Tabelle 1: Technisch wirtschaftlich nutzbares Potenzial von Wärmepumpen im Auslauf von Kläranlagen in Baden-Württemberg für das Zieljahr 2030

speiseleistung einer Wärmepumpe in ein Wärmenetz (2) berechnet:

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

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

mit:

- $W_{ABW}$  [kW] Wärmeentzugsleistung Abwasser
- $\dot{V}_{a,b}$  [l/s] Volumenstrom (Durchfluss)
- $\rho$  1000 [kg/m<sup>3</sup>] Dichte Wasser (bei 0 °C bis 20 °C pauschal)
- $c_p$  4,19 [kJ/kg · K] spezifische Wärmekapazität Wasser (bei 0 °C bis 20 °C pauschal)
- $\Delta T$  4 [K] Temperaturspreizung Wärmetauscher
- $P_{WP}$  [kW] Heizleistung Wärmepumpe
- JAZ 2,8 Jahresarbeitszahl Wärmepumpe

Mit der Festlegung der erreichbaren Temperaturspreizung  $\Delta T$  am Wärmetauscher auf 4 K wurde für alle Anlagen in der im Rahmen der Studie durchgeführten Potenzialanalyse eine konservative Abschätzung der nutzbaren Entzugsleistung aus dem Auslauf getroffen. Durch den Einsatz von größer dimensionierten Wärmetauschern 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 dieser Analyse sind deshalb als untere Grenze des technischen Angebotspotenzials zu verstehen. Bei einer Projektinitiierung sollten die Potenziale noch einmal detaillierter anhand mehrjähriger, tagesscharfer Messungen der Durchflussmengen und Abwassertemperaturen berechnet werden.

Die Heizleistung der Wärmepumpe  $P_{WP}$  kann dann mit der Jahresarbeitszahl (hier vereinfacht pauschal mit 2,8 festgelegt) berechnet werden. Im Gegensatz zum COP, der abhängig von den jeweiligen Betriebsverhältnissen gilt, gibt die Jahres-

arbeitszahl (JAZ) das Verhältnis aus abgegebener Wärmemenge zu aufgenommener Antriebsenergie über ein Jahr bei unterschiedlichen Betriebspunkten und unter Berücksichtigung der benötigten Hilfsenergien, wie zum Beispiel Pumpstrom, an.

Eine JAZ von 2,8 bedeutet, dass aus 1 kWh Strom und 1,8 kWh Entzugsleistung Abwasserwärme insgesamt 2,8 kWh Wärme für Heizzwecke bereitgestellt werden. Weitere Ausführungen sind auch dem Merkblatt DWA-M 114 [8] zu entnehmen.

### 3 Ergebnisse der 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-/Wärmesenken-Analyse durch das ifeu durchgeführt, um die über Wärmenetze nutzbaren Potenziale genauer zu bestimmen. Die Methodik ist in [10] näher erläutert.

Von den 491 Kläranlagenstandorten der Größenklassen 3 bis 5 aus dem DWA-Leistungsnachweis Baden-Württemberg aus dem Jahr 2019 wiesen 366 Standorte einen mittleren Trockenwetterabfluss von mindestens 15 l/s auf. Von dieser Teilmenge haben 258 Standorte nach dem Leistungsabgleich mit den Wärmesenken eine minimale Auslegungskapazität einer Transportleitung (Luftlinie) von 1 MW/km und können damit ein technisch-wirtschaftlich nutzbares Potenzial bereitstellen (vgl. Tabelle 1).

Die modellierte Einspeisekapazität entspricht rund 11 % der Wärmenetzeinspeisung zur Versorgung von Gebäuden mit Raumwärme und Trinkwarmwasser sowie 4,3 % des Nutzwärmebedarfs von Gebäuden unter Berücksichtigung fortschreitender energetischer Gebäudesanierung im Zieljahr 2030.

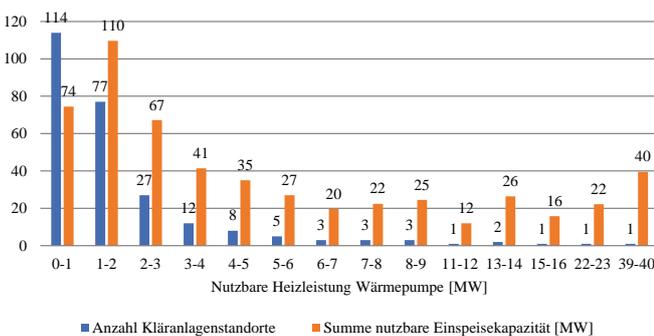


Abb. 6: Verteilung des technisch-wirtschaftlich nutzbaren Potenzials auf Leistungsklassen

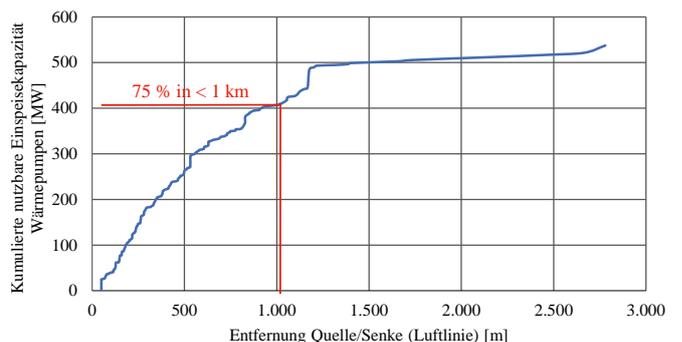


Abb. 7: Entfernungspotenzialkurve

Kennwert	Einheit	Altensteig	Tübingen	Weinstadt
Ausbaugröße der Kläranlage	EW	34 000	137 500	95 000
Jahresabwassermenge	Mio. m <sup>3</sup> /a	3,1	13,1	3,8
Wärmeüberschuss Faulgasnutzung	MWh <sub>th</sub> /a	550	1100	400
Potenzial der Wärmepumpenleistung bei 5 K Abkühlung (JAZ = 2,8)	MW <sub>th</sub>	1,7 <sup>1)</sup>	9,0	2,5
Geplante Wärmepumpenheizleistung	MW <sub>th</sub>	0,3	6 (Stufe 1) und 3 (Stufe 2)	1,5
Geplante Erzeugungsmenge	MWh <sub>th</sub> /a	750	42 000 (Stufe 1) und 63 000 (Stufe 2)	7.500
Investitionskosten (Stand 2021, ohne BEW-Förderung)	Mio. €	0,525 <sup>2)</sup>	16,28 (Stufe 1) und 4,15 (Stufe 2) <sup>2)</sup>	3,165 <sup>2)</sup>

1) in Altensteig bei 3 K Abkühlung; 2) ohne Wärmenetz

Tabelle 2: Wesentliche Kenndaten aus Betrachtung der Musteranlagen

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 über 10 MW stehen an sechs Standorten zur Verfügung (Abbildung 6).

Die Entfernungsanalyse zeigt, dass rund 75 % der als technisch-wirtschaftlich nutzbar eingestuften Einspeisekapazität von Wärmepumpen im Auslauf von Kläranlagen in unter einem Kilometer Entfernung zu den nächsten potenziellen Wärmesenken liegen (Abbildung 7).

Bei der Interpretation der dargestellten Potenziale ist zu beachten, dass die Erschließbarkeit der Wärmenetze, neben der Wirtschaftlichkeit von Großwärmepumpen als Wärmeezeuger, stark von einem staatlich forcierten Wärmenetzausbau sowie der kommunalen Wärmeplanung als lokales Kommunikations- und Steuerungsinstrument abhängt.

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.

## 4 Musteranlagen

### 4.1 Allgemeines

Im Rahmen der Untersuchungen wurden die Kläranlagen an den Standorten Altensteig, Tübingen und Weinstadt näher betrachtet, und in Abstimmung mit den Stadtwerken wurden Vor-Ort-Konzepte zur Nutzung der Abwasserwärme entwickelt. Wesentliche Kenndaten sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Bezüglich der Investitionskosten ist anzuführen, dass diese aktuell bis zu 40 % über das Förderprogramm „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze“ (BEW) nach Beantragung und Bewilligung bezuschusst werden können [11].

### 4.2 Altensteig

Bisher gibt es noch kein Wärmenetz in direkter Nähe zur Sammelkläranlage Altensteig. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung wurde daher ein Konzept für ein neues Wärmenetz erstellt, um Gebäude eines nahegelegenen Teilorts 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 eingespeist werden. Dazu wurde 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 überschüssige Wärme aus dem Faulgas-BHKW den Wärmebedarf für das konzipierte Wärmenetz vollständig decken kann. Als Zuleitung für das geplante Wärmenetz wird eine Leitungslänge von 350 m, im Versorgungsgebiet selbst werden 1640 m Wärmeleitung zur Erschließung des konzipierten Wärmenetzes erforderlich.

### 4.3 Tübingen

Beim Projekt in Tübingen handelt es sich um eine Kläranlage, die bereits an ein Wärmenetz angeschlossen ist. In Abhängigkeit von der prognostizierten Wärmeabnahme soll die Abwasserwärmenutzung in Tübingen ganzjährig mittels mehrstufiger Wärmepumpen in zwei Ausbaustufen 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.

In der technischen Umsetzung ist geplant, einen Teilstrom des geklärten Abwassers nach der 4. Reinigungsstufe zu entnehmen und über eine nicht gedämmte Rohrleitung zur Energiezentrale zu fördern. Dort wird das Abwasser im Wärmetauscher abgekühlt. Das abgekühlte Abwasser wird über eine weitere, nicht gedämmte Rücklaufleitung in den Auslauf der Kläranlage eingeleitet. Die Einbindung der Wärmesenke soll über gedämmte Wärmeleitungen erfolgen. Die im Konzept berechnete Wärmemenge kann nur im Wärmenetz der Stadtwerke genutzt werden, wenn der Wärmebedarf groß genug ist. Es wird deshalb gleichzeitig geplant, die derzeit noch getrennten Wärmenetze im Stadtgebiet zu verbinden. Dabei wird von einer Steigerung der Wärmeabnahme von 90 GWh/a auf 150 GWh/a bis zum Jahr 2030 ausgegangen, wenn der Ausbau der Wärmeversorgung planmäßig erfolgt.

#### 4.4 Weinstadt

Die Wärmepumpe soll in einem neuen Gebäude direkt neben dem Auslauf der Kläranlage installiert werden. Auf dem Gelände der Kläranlage müssen zusätzliche 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.

Die Stadtwerke Weinstadt betreiben aktuell schon vier getrennte Wärmenetze im Stadtgebiet mit einer Gesamtlänge von sechs Kilometern. Geplant ist auch hier die Verbindung der Wärmenetze. Der Wärmebedarf im Bestandsnetz liegt bei ca. 8000 MWh/a und könnte in einer Ausbauperspektive bis 2030 auf bis zu 17000 MWh/a ansteigen.

#### 4.5 Wirtschaftlichkeit

Um die Ergebnisse der einzelnen Referenzprojekte miteinander vergleichen zu können, wurden die spezifischen Investitionskosten und die spezifischen Wärmeerzeugungskosten in Abbildung 8 zusammengefasst. Dabei beschreibt die x-Achse der Grafik die jeweilige Heizleistung der gewählten Wärmepumpe. Die Investitionskosten schätzung bezogen auf die Heizleistung bezieht sich auf die linke y-Achsenkalibrierung und liegt bei allen drei Referenzprojekten im Bereich zwischen 1050 €/kW und rund 1320 €/kW. Die Kosten für die Wärmeerzeugung be-

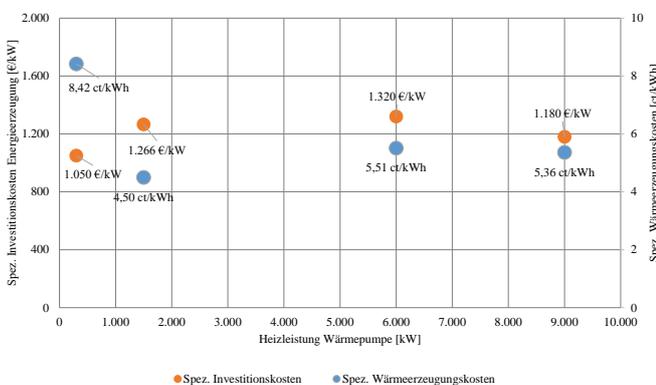


Abb. 8: Vergleich der spezifischen Werte der untersuchten Referenzprojekte“ (v.l.n.r.): Altensteig, Weinstadt, Tübingen (Ausbau-stufe 1+2)

zogen 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, die 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 Volllast begründet werden.

Die berechneten Werte beruhen auf den Energiepreisen sowie den Investitionskostenansätzen zum Zeitpunkt der Konzepterstellung Mitte des Jahres 2021. In der aktuellen Situation sind erhebliche Kostensteigerungen in allen Bereichen zu beobachten. Die größten Kostensteigerungen sind dabei bei den Energiepreisen aufgrund von reduzierten Gasliefermengen zu beobachten. Eine Abschätzung, welches Niveau die Energiepreise in Zukunft erreichen, war zum Zeitpunkt der Berichtverfassung von Münch et al. [10] nicht möglich. In den berechneten Werten ist die Betriebskostenförderung berücksichtigt, die innerhalb des BEW für den Betrieb von Wärmepumpen in den ersten zehn Betriebsjahren beantragt werden kann.

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

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit der Studie werden wichtige Erkenntnisse zur Quantifizierung des Potenzials von Abwasserwärmenutzung in Baden-Württemberg gewonnen. Wie die Studie zeigte, stehen ausgereifte technische Lösungen zur Erschließung des Potenzials bereit. In naher Zukunft werden viele Konzepte zur Klimaneutralität von Kommunen im Rahmen der „kommunalen Wärmepläne“ erarbeitet, bei denen die Abwasserwärmenutzung eine Rolle spielt. Hier ist auf eine effiziente Kommunikation aller Akteure zu achten, vor allem sollten die Betreiber von Kläranlagen und insbesondere kommunale Entscheidungsträger\*innen aktiv für das Thema sensibilisiert werden.

Für die Umsetzung der Abwasserwärmenutzung wird neben der Bereitstellung von Personal nicht nur die Kommunikation zwischen allen Beteiligten erwartet, sondern auch die Bereitschaft zur Akzeptanz und Durchführung der erforderlichen Baumaßnahmen nicht nur auf den Kläranlagen, sondern vor allem auch bei den Wärmenetzen und bei der Gebäudeeinbindung.

Die erheblichen Kostensteigerungen der Energiepreise und die verstärkten politischen Klimaschutzbemühungen machen das Thema Abwasserwärmenutzung auch aus wirtschaftlicher Sicht zunehmend interessant.

Wichtig für die Wirtschaftlichkeit ist die Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW), die zurzeit neben einem Zuschuss für die Konzeptentwicklung und einem Investitionskostenzuschuss von bis zu 40 % auch einen Betriebskostenzuschuss vorsieht und damit die Stromkosten für den Wärmepumpenbetrieb deutlich reduziert.

Es ist schlussendlich nicht mehr die Frage, „ob“ sämtliche zur Verfügung stehenden Abwärmepotenziale genutzt werden, sondern nur noch „wie“.

Gefördert durch eine Vielzahl bestehender Anlagen in der Schweiz und erste Projekte in Deutschland (zum Beispiel IIs-

feld, Lemgo) sind marktreife Lösungen für individuelle Projekte verfügbar und planerische Kompetenzen vorhanden. Die optimale Auslegung einer Abwärmenutzungsanlage ist auch immer im Kontext von Wärmenetzentwicklungen, alternativen Wärmeerzeugern (zum Beispiel Abwärme aus Industriebetrieben) und energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu sehen.

Neben dem Ausbau der Wärmenetze und der Absenkung der Netztemperaturen ist die intelligente Verzahnung sämtlicher Energieanlagen auf den Kläranlagen (zum Beispiel Kombination mit Wärme- bzw. Stromerzeugung aus Faulgas-BHKW, Nutzung der Abwärme aus Ozonanlagen und Elektrolyseuren sowie Aufbau von maximaler Photovoltaik-Stromerzeugung auf Kläranlagen) ein wesentlicher Hebel, um die Gesamteffizienz der Systeme zu optimieren.

## 6 Zusammenfassung

Um eine klimaneutrale Wärmeversorgung bis 2040 zu erreichen, ist es von großer Bedeutung, erneuerbare Wärmequellen zu erschließen. Abwasser gilt dabei als vielversprechende Wärmequelle. Diese Abwasserwärme kann ganzjährig mittels Wärmepumpen entzogen und in ein lokales Wärmenetz eingespeist werden. Voraussetzung für die Erschließung des Wärmepotenzials ist der weitere Ausbau von Nah- und Fernwärmenetzen.

Im Rahmen der Studie von Münch et al. [10] wurden vielversprechende Standorte für den Einsatz von Abwasserwärmenutzung aus dem Auslauf von Kläranlagen in Baden-Württemberg lokalisiert und beispielhafte Standorte initial beraten. Somit wurden erstmals flächendeckend für Baden-Württemberg die Potenziale der Abwasserwärme im Auslauf von Kläranlagen ermittelt. Die Nutzung dieser Wärmepotenziale kann in die kommunale Wärmeplanung bis Ende des Jahres 2023 einfließen und zum Erreichen der klimaneutralen Wärmeversorgung bis 2040 in Baden-Württemberg beitragen.

Die räumliche Zuordnung und der Abgleich von Wärmeangebot und -nachfrage ergab, dass 258 Kläranlagenstandorte in Baden-Württemberg ein technisch-wirtschaftlich nutzbares Einspeisepotenzial bereitstellen können. Die modellierte Einspeisekapazität entsprach rund 11 % der Wärmenetzeinspeisung zur Versorgung von Gebäuden mit Raumwärme und Trinkwarmwasser sowie 4,3 % des Nutzwärmebedarfs von Gebäuden unter Berücksichtigung fortschreitender energetischer Gebäudesanierung im Zieljahr 2030. Die Projektergebnisse unterstreichen damit die Bedeutung der Abwasserwärmenutzung als wichtigen Baustein für die Energiewende im Wärmebereich.

Weiterhin wurden drei exemplarische Kläranlagenstandorte (Musteranlagen) detailliert untersucht. Es wurde deutlich, dass eine Umsetzung der Abwasserwärmenutzung im Auslauf dieser drei Kläranlagen in der Praxis technisch realisierbar ist. Bei der Auslegung derartiger technischer Anlagen gilt es, für den jeweiligen Standort ein individuelles Konzept zu entwickeln, das an die Gegebenheiten vor Ort angepasst wird. Für die drei Musteranlagen wurden Steckbriefe erarbeitet, welche die wichtigsten technischen Kennzahlen als Anhaltspunkt für eine erste Potenzialbewertung an vergleichbaren Standorten enthalten.

Die ausführliche Studie, weitere Informationen und nützliche Links stehen auf der Projekt-Homepage zur Verfügung: [www.abwasserwaerme-bw.de](http://www.abwasserwaerme-bw.de)

## Literatur

- [1] Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg (KSG BW), Stand 12. Oktober 2021
- [2] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg, 2022, <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimaschutz-in-bw/klimaschutzgesetz-baden-wuerttemberg> (abgerufen am 21. September 2022)
- [3] Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg: *Energieverbrauch privater Haushalte*, 2021, <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/umweltdaten-umweltindikatoren/energiewende>
- [4] KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg: *Kommunale Wärmeplanung, Handlungsleitfaden*, 2020, [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2\\_Presse\\_und\\_Service/Publikationen/Energie/Leitfaden-Kommunale-Waermeplanung-barrierefrei.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Leitfaden-Kommunale-Waermeplanung-barrierefrei.pdf)
- [5] S. Fritz, M. Pehnt: *Kommunale Abwässer als Potenzial für die Wärmewende?* ifeu, Heidelberg, 2018, [https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/ifeu-bmu\\_Abwaerme Potenzial\\_Abwasser\\_final\\_update.pdf](https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/ifeu-bmu_Abwaerme Potenzial_Abwasser_final_update.pdf)
- [6] F. Kretschmer: *Abwasserwärmenutzung aus ganzheitlicher Sicht*, *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2022, 69 (2), 115–121
- [7] ifeu: *Wärmeatlas*, 2022, <https://www.ifeu.de/methoden-tools/modelle/waermeatlas> (abgerufen am 13. Juli 2022)
- [8] Merkblatt DWA-M 114: *Abwasserwärmenutzung*, Hennef, 2020
- [9] A. Rückle: *Der Wärmepumpen-Kreislaufprozess*, IBS Ingenieurgesellschaft, Bietigheim-Bissingen, 2015
- [10] K. Münch, S. Blömer, L. Lütkes, M. Pehnt, B. Schoor, C. Schmidt, W. Schuler: *Abwasserwärmenutzung aus dem Auslauf von Kläranlagen – Lokalisierung von Standorten in Baden-Württemberg*, DWA-Landesverband Baden-Württemberg, 2022, [https://www.abwasserwaerme-bw.de/cms/content/media/Abschlussbericht\\_Abwasserwaermenutzung-BW\\_komprimiert.pdf](https://www.abwasserwaerme-bw.de/cms/content/media/Abschlussbericht_Abwasserwaermenutzung-BW_komprimiert.pdf)
- [11] Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze, *Bundesanzeiger*, 18. August 2022, <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/LqynJ78mbcSrTH7L83/content/LqynJ78mbcSrTH7L83/BAnz%20AT%2018.08.2022%20B1.pdf?inline>

## Autoren

Sebastian Blömer, M. Sc.  
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH  
Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg

E-Mail: [sebastian.bloemer@ifeu.de](mailto:sebastian.bloemer@ifeu.de)

Benjamin Schoor, M. Sc.  
IBS Ingenieurgesellschaft mbH  
Flößerstraße 60/3, 74321 Bietigheim-Bissingen

E-Mail: [b.schoor@ibs-ing.com](mailto:b.schoor@ibs-ing.com)

Prof. Dr.-Ing Peter Baumann  
Hochschule für Technik Stuttgart  
Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart

E-Mail: [peter.baumann@hft-stuttgart.de](mailto:peter.baumann@hft-stuttgart.de)

Julia Keller, M. Sc., Dipl.-Ing. Kathrin Münch,  
Dr.-Ing. Tobias Reinhardt  
DWA-Landesverband Baden-Württemberg  
Rennstraße 8, 70499 Stuttgart

E-Mail: [julia.keller@dwa-bw.de](mailto:julia.keller@dwa-bw.de)

Dr.-Ing. Werner Maier  
Umweltberatung-wm  
Max-Eyth-Straße 20, 70839 Gerlingen

E-Mail: [info@umweltberatung-wm.de](mailto:info@umweltberatung-wm.de)

