

STADT AICHTAL

Potenzialstudie zur Abwasserwärmenutzung

Bericht

Stand: 10.10.2023

Projekt-Nr. TS-06349

Digitale Fertigung

ZUSAMMENFASSUNG

Im Auftrag der Stadt Aichtal wurde eine Potenzialstudie zur Abwasserwärmenutzung für das städtische Kanalnetz erstellt.

Das Kernergebnis der Studie ist die Energiekarte, die diesem Bericht beiliegt. Auf dieser Energiekarte sind die allgemeinen Grenzkriterien für eine wirtschaftliche Nutzung der Abwasserwärme, die sich aus dem DWA-Merkblatt M 114 „Abwasserwärmenutzung“ ergeben, aggregiert und grafisch dargestellt. Diese sind

- ein Mindestabfluss von 15 l/s und
- eine Entfernung von 150 m bzw. von 300 m vom Kanal zum Wärmenutzer.

Des Weiteren sind zwei wesentliche Kriterien dargestellt, die eine Nutzung der Abwasserwärme auch mit nachträglich in den Kanal eingebrachten Wärmetauschern erlauben:

- ein Mindestdurchmesser von DN 1000
- eine ausreichende hydraulische Kapazität der Haltung nach Querschnittsverengung durch den Rinnenwärmetauscher

Von allen untersuchten Haltungen kommen im Kanalnetz im Einzugsgebiet der Gruppenkläranlage (KA) Aichtal der Stadt Aichtal Haltungen in der Länge von 2.165 m für die Abwasserwärmenutzung infrage. Davon beträgt der Anteil der Klasse „geeignet ohne Einschränkungen“ (Querschnitt größer als DN 1000 und ausreichende hydraulische Leistungsfähigkeit) 25 %.

Erst anhand von Machbarkeitsstudien zu den einzelnen Objekten wird sich erweisen, ob bzw. wo sich das allgemeine Potenzial der Abwasserwärmenutzung, das sich aus der Energiekarte ergibt, im Kanalnetz der Stadt Aichtal konkret wirtschaftlich und ökologisch vorteilhaft darstellen lässt.

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	2
Inhaltsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	4
Anlagenverzeichnis.....	5
1 Veranlassung und Aufgabenstellung.....	6
2 Theoretische Grundlagen der Wärmegewinnung	7
2.1 Prinzipiell mögliche Orte der Wärmegewinnung	7
2.1.1 In der Liegenschaft.....	7
2.1.2 Im Kanalnetz	8
2.1.3 Auf bzw. nach der Kläranlage	8
2.1.4 Haupt- und Nebenstrom.....	8
2.2 Funktionsweise einer Anlage zur Abwasserwärmenutzung (im Kanalnetz)	9
2.2.1 Prinzipieller Aufbau der Anlage.....	9
2.2.2 Rinnenwärmetauscher	10
2.2.3 „Thermpipe“®	12
2.2.4 Externe Wärmetauscher („Bypasslösung“)	13
2.2.5 Prinzip der Wärmepumpe	14
2.2.6 Nutzung zu Kühlungs Zwecken	15
2.2.7 Effizienzkriterien	16
2.3 Beitrag zum Umweltschutz.....	17
3 Grundlagendaten	18
3.1 Überblick über das Kanalnetz	18
3.2 Trockenwetterdaten	18
3.3 Hydraulische Daten	20
3.4 Fern-/Nahwärmenetz	20
3.5 Abwassertemperaturen	20
4 Energiekarte	22
4.1 Auf der Energiekarte dargestellte Kriterien	22
4.2 Mittlerer Trockenwetterabfluss	22
4.3 Hydraulische Auslastung.....	22
4.4 Abstand des Wärmenutzers vom Kanal.....	23
4.5 Potenzielle Wärmenutzer	23
4.6 Erläuterung der Legenden	24

5	Beschreibung der Ergebnisse	25
6	Umweltschutz/Nachhaltigkeit/Klimaschutz	26
	Anhang mit Verzeichnis	28
	Anlagenverzeichnis	31
	Unterlagenverzeichnis	32

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1	Trockenwetterabflüsse der Stadt Aichtal aus der Schmutzfrachtberechnung (/12/).....	20
Tab. 2	Statistische Auswertung der Ergebnisse der Energiekarte.....	25

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1	Mögliche Einbauorte für Wärmetauscher (aus /3/)	7
Abb. 2	Prinzipieller Aufbau der Abwasserwärmenutzung im Abwasserkanal (Quelle: Wallstein Ingenieur GmbH)	10
Abb. 3	Nachträglich einsetzbares Wärmetauschermodul	11
Abb. 4	Nachträglich einsetzbares Wärmetauschermodul im Kanal (Neckarpark, Stuttgart)....	11
Abb. 5	„Thermpipe“ [®] mit Stützrohr am Außenrohr für Neuverlegung (Frank GmbH)	12
Abb. 6	Prinzipiskizze des Gesamtsystems eines externen Wärmetauschers (Quelle: Huber AG, Berching)	13
Abb. 7	Wärmetauschermodul eines externen Wärmetauschersystems (Quelle: Huber AG, Berching)	14
Abb. 8	Vereinfachtes Funktionsschema einer Wärmepumpe mit umkehrbarer Betriebsweise im Heizbetrieb (links) und im Kühlbetrieb (rechts), modifiziert nach /5/	16
Abb. 9	CO ₂ -Einsparpotenzial von Mehrfamiliengebäude und Bürogebäude (/13/).....	17
Abb. 10	Untersuchungsgebiet mit relevanten Bauwerken (Hintergrundkarte: OpenStreetMap)	18
Abb. 11	Auswertung des Zuflusses der KA Aichtal/Grötzingen	19
Abb. 12	Monatswerte der Abwassertemperatur am Zulauf KA (2022).....	21
Abb. 13	Wohnflächenspezifischer Wärmebedarf der Stadt Aichtal (Quelle LUBW)	25

ANLAGENVERZEICHNIS

- 1 Energiekarte
- 2 Auswertung Abwassertemperatur

M.: 1 : 3.000

1 VERANLASSUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Die Stadt Aichtal hat das Ingenieurbüro Klinger und Partner Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH (Klinger und Partner - KuP) mit der Durchführung einer Potenzialstudie zur Abwasserwärmenutzung für seine Kanäle beauftragt.

Die Idee der Abwasserwärmenutzung ist nicht neu. Bereits 1982 wurde im Salemer Pflughof, einer Sozialstätte mit kulturellen Ausstellungsräumen in Esslingen, die erste deutsche Pilotanlage errichtet (/8/). Das Gesamtprojekt wurde durch das damalige Bundesforschungsministerium gefördert, der Betrieb mehrere Jahre lang wissenschaftlich begleitet. Nach dem Auslaufen der wissenschaftlichen Begleitung wurde die Anlage jedoch bald stillgelegt, weil die Wärmepumpe, die auf einem Dieselmotor basierte, einen immensen Wartungsaufwand verursacht hatte. Im Jahr 2013 wurde der Wärmetauscher im Rahmen eines Forschungsprojekts des Umweltministeriums Baden-Württemberg unter Mitwirkung von KuP auf Dichtheit und Funktionsfähigkeit geprüft (/9/). Das Ergebnis war positiv, sodass der Wärmetauscher anlässlich der Erneuerung der Heizungsanlage mit einer neuen Wärmepumpe wieder in Betrieb genommen werden konnte.

In den letzten Jahrzehnten, vor allem in den letzten Jahren, ist in Deutschland eine Vielzahl von Anlagen gebaut worden. Allein für das Jahr 2019 gibt die DWA (/7/) einen Bestand von 89 an.

Viele mögliche Abwasserenergieanlagen werden jedoch nicht realisiert, weil die Technik bei Planern und Bauherren noch zu wenig bekannt ist, aber auch weil angesichts enger Terminvorgaben für Bauprojekte die Zeit für die nötigen Vorabklärungen häufig nicht vorhanden ist (/4/).

Die Stadt Aichtal hat beschlossen, dieser Situation zu begegnen. Dazu hat die Erarbeitung einer Potenzialstudie beauftragt, mit der die Grundlagenarbeit für die Abwasserwärmenutzung für die Halungen der Stadt geleistet wird.

Ein wesentliches Element einer Potenzialstudie ist das Erstellen einer Energiekarte, mit der geeignete Standorte systematisch gesucht werden können. So kann aufgrund der Karte ein Prioritätsgebiet für die Abwasserwärmenutzung ausgewiesen werden, das auf geeignete Objekte untersucht wird (öffentliche Bauten, größere private Gebäude). Zugleich ermöglicht diese Karte ein schnelles Handeln, wenn im Prioritätsgebiet

- große öffentliche oder private Bauten neu erstellt,
- Sanierungen von Heizungssystemen mit großen Leistungen vorgenommen oder
- Abwasserkanäle neu gebaut oder erneuert werden.

Mit der Potenzialstudie, die hiermit vorgelegt wird, hat die Stadt Aichtal die Nutzung der Abwasserwärme im Kanalnetz einen entscheidenden Schritt vorangebracht.

2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN DER WÄRMEGEWINNUNG

2.1 Prinzipiell mögliche Orte der Wärmegewinnung

Prinzipiell gibt es drei verschiedene Orte, an denen ein Wärmetauscher eingebaut und somit Wärme gewonnen werden kann:

1. in der Liegenschaft (aus Rohabwasser)
2. im Kanalnetz (aus Rohabwasser)
3. auf bzw. nach der KA (aus gereinigtem Abwasser)

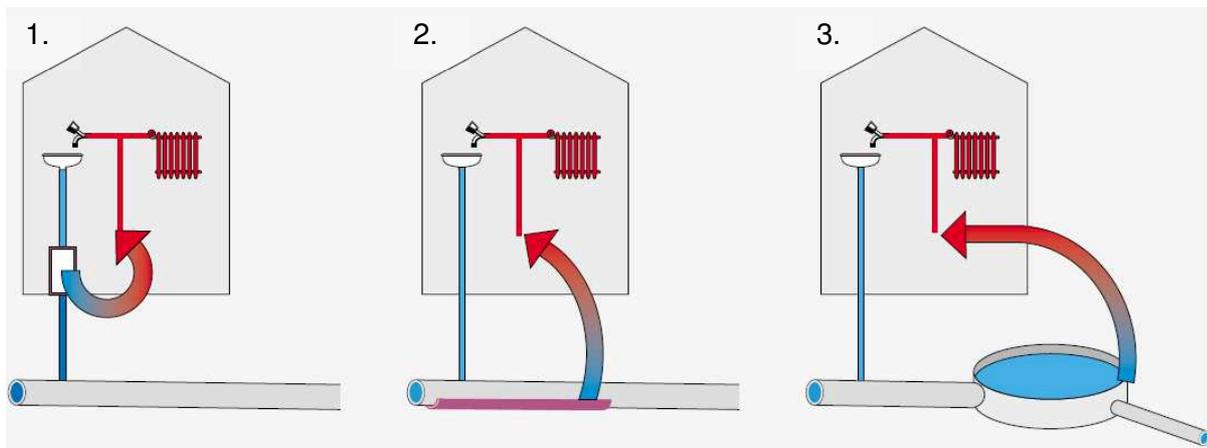


Abb. 1 Mögliche Einbauorte für Wärmetauscher (aus /3/)

2.1.1 In der Liegenschaft

Die Abwasserwärmenutzung in der Liegenschaft ist, in Form der Abwasserwärmenutzung in der Industrie (chemische Industrie, Lebensmittelindustrie), zurzeit am weitesten verbreitet. In der Regel handelt es sich dabei aber nicht um mit Fäkalien verunreinigtes Abwasser.

Die folgenden Vorteile hat die Abwasserwärmenutzung in der Liegenschaft:

- relativ hohe Abwassertemperaturen
- sehr kurze Wärmetransportwege
- Betreiber gleich Wärmeverbraucher
- kein Einfluss von Niederschlagswasser

Den Vorteilen stehen die folgenden Nachteile gegenüber:

- geringe Abflüsse mit tageszeitlich großen Schwankungen
- dezentrale Anlagen mit hohem Betriebsaufwand

Eine Analyse der Vor- und Nachteile zeigt, dass die Nutzung in der Liegenschaft vornehmlich bei gewerblichen/industriellen oder sehr speziellen, öffentlichen Bauten zum Tragen kommen kann.

2.1.2 Im Kanalnetz

Die Abwasserwärmenutzung im Kanalnetz ist diejenige Form, an die zuerst gedacht wird, wenn über das Thema „Abwasserwärmenutzung“ gesprochen wird. Sie weist im Allgemeinen auch das größte Potenzial auf, weil sich die meisten größeren Bauten inmitten von Siedlungsgebieten befinden, die von einem dichten Kanalnetz durchzogen sind.

Der Abwasserwärmenutzung im Kanalnetz können die folgenden Vorteile zugeschrieben werden:

- größere Abwassermengen und damit höherer Energiegehalt
- kurze Wärmetransportwege
- angemessene Überwachung und Betriebssicherheit

Im Gegenzug sind die folgenden Nachteile zu nennen:

- große Abhängigkeit vom Netzbetreiber
- möglicher Einfluss auf die Abwasserreinigung

Die Abwasserwärmenutzung auf der Kläranlage (KA) vor der biologischen Stufe kann von ihren Vor- und Nachteilen her im Wesentlichen der Abwasserwärmenutzung im Entwässerungssystem gleichgesetzt werden. Ein zusätzlicher Nachteil ist dabei die in der Regel lange Transportstrecke zum Wärmenutzer (außerhalb der KA). Vorteilhaft ist, dass keine neue Betriebsstelle errichtet wird (s. auch folgendes Kapitel).

2.1.3 Auf bzw. nach der Kläranlage

Wo immer möglich bietet die Abwasserwärmenutzung auf bzw. nach der KA die effizienteste Art der Nutzung. Dafür sprechen die folgenden Vorteile:

- kein Einfluss auf die Abwasserreinigung
- deutlich geringer belastetes Wasser
- kein zusätzlicher Betriebspunkt

Der einzige nennenswerte Nachteil, der allerdings häufig ausschlaggebend ist, sind die meist langen Transportwege von der KA zum potenziellen Wärmenutzer.

Aufgrund der deutlichen Vorteile wurden kleinere Anlagen zur Abwasserwärmenutzung bereits mehrfach auf KAs in Baden-Württemberg installiert (in der Regel in Kombination mit einer Anlage zur Schlamm-trocknung).

2.1.4 Haupt- und Nebenstrom

An jedem der genannten Orte kann der Wärmetauscher im Haupt- oder im Nebenstrom (Bypass) angeordnet sein. Die Vorteile der jeweiligen Anordnungen sind im Folgenden aufgelistet.

Hauptstrom:

- kein zusätzlicher Platzbedarf
- kein Ausleitbauwerk (mit Grobstoffentfernung) notwendig
- keine Förderpumpe notwendig

Nebenstrom (Bypass):

- vom Kanalbetrieb unabhängig
- begehbare Kompaktanlage und trockene Aufstellung möglich (günstige Wartungs- und Instandsetzungsmöglichkeit)
- einfach rückbaufähig
- Wärmetauscher nicht von der Geometrie des Kanals abhängig

2.2 Funktionsweise einer Anlage zur Abwasserwärmenutzung (im Kanalnetz)

2.2.1 Prinzipieller Aufbau der Anlage

Um dem Abwasser Wärme zu entziehen, werden eigens hierfür entwickelte Wärmetauscher eingesetzt, die an der Sohle vorhandener oder neu zu verlegender Abwasserkanäle eingebaut werden (Rinnenwärmetauscher).

Rinnenwärmetauscher bestehen üblicherweise aus einer Edelstahldoppelschale, die vom Zwischenkreislauf durchflossen wird. Als Medium dient reines Wasser, das ggf. mit einem Frostschutzmittel versetzt wird, um tiefere Temperaturen fahren zu können (was mit einem höheren Wärmeentzug einhergeht). Über eine Rohrleitung, die in der Regel nicht isoliert sein muss, wird das Zwischenmedium vom Wärmetauscher zum Verdampfer der Wärmepumpe und zurück geleitet. Am Wärmetauscher wird das Wasser des Zwischenkreislaufs durch das Abwasser erwärmt, am Verdampfer der Wärmepumpe wieder abgekühlt. Angetrieben wird der Zwischenkreislauf von einer konventionellen Umwälzpumpe.

Die auf einem Temperaturniveau von rd. 8 bis 12 °C dem Abwasser entzogene Wärme wird durch die Wärmepumpe auf ein nutzbares Temperaturniveau (50 bis 55 °C) „gepumpt“. Die Temperaturerhöhung erfolgt durch Verdichtung eines Kältemittels im Kompressor der Wärmepumpe im Kältemittelkreislauf. Dabei gilt, dass die Gesamtanlage umso wirtschaftlicher arbeitet, je kleiner die zu „pumpende“ Temperaturdifferenz ist. Diese Temperaturdifferenz kann durch die Wahl der im Gebäude eingesetzten Heizelemente entscheidend beeinflusst werden (Einsatz von Flächenheizungen).

Schließlich kann die Wärme dem Nutzer zur Verfügung gestellt werden (Kreislauf Heizmedium). Abb. 2 verdeutlicht den Aufbau grafisch. Eine detaillierte Darstellung befindet sich in Anhang 1.

Die Heizanlage kann entweder in einem eigenen Gebäude oder im Heizraum eines bestehenden Gebäudes untergebracht werden. Mehrere Objekte können von einer Heizzentrale aus über Wärmeleitungen versorgt werden.

Meist wird für die Abdeckung von Tagen mit überdurchschnittlichem Wärmebedarf zusätzlich zur Wärmepumpe ein zweiter Wärmeerzeuger eingesetzt (bivalente Wärmepumpenanlage). Damit kann die Betriebssicherheit erhöht und gleichzeitig die Wärmepumpe wirtschaftlicher betrieben werden, weil sie dann kleiner dimensioniert wird und so längere Betriebszeiten unter Vollast erreicht.

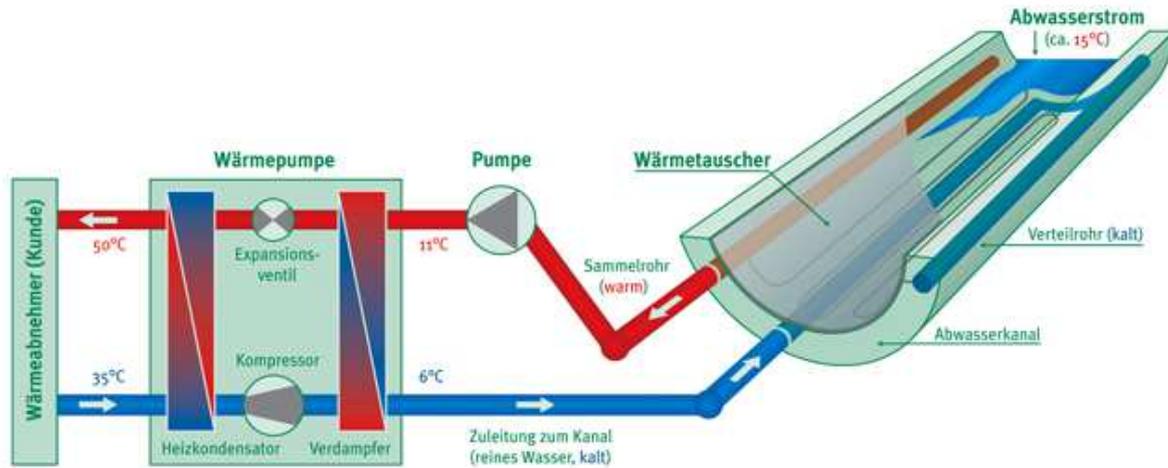


Abb. 2 Prinzipieller Aufbau der Abwasserwärmenutzung im Abwasserkanal (Quelle: Wallstein Ingenieur GmbH)

2.2.2 Rinnenwärmetauscher

Ein Wärmetauschermodul ist in der Regel zwischen 1,50 m und 3,00 m lang; die Wandstärke der Edelstahlschale beträgt 1 bis 3 mm. Es kann von einer Nutzungsdauer von über 50 Jahren ausgegangen werden.

Die Wärmetauscher werden entweder in bestehende oder in neue Kanäle mit ausreichendem Querschnitt und Sohlgefälle eingebaut oder bei neuen Kanälen bzw. Kanalauswechslungen als vorgefertigte Bauteile komplett mit dem Abwasserrohr installiert (/2/). Von letzter Möglichkeit wird jedoch aus verschiedenen Gründen tendenziell abgeraten.

Abb. 3 zeigt ein Wärmetauschermodul für den nachträglichen Einbau. Abb. 4 zeigt ein Foto solcher Module in einem Kanal. Anhang 2 zeigt Skizzen weiterer Ausführungsarten nachträglich eingebauter Wärmetauscher.

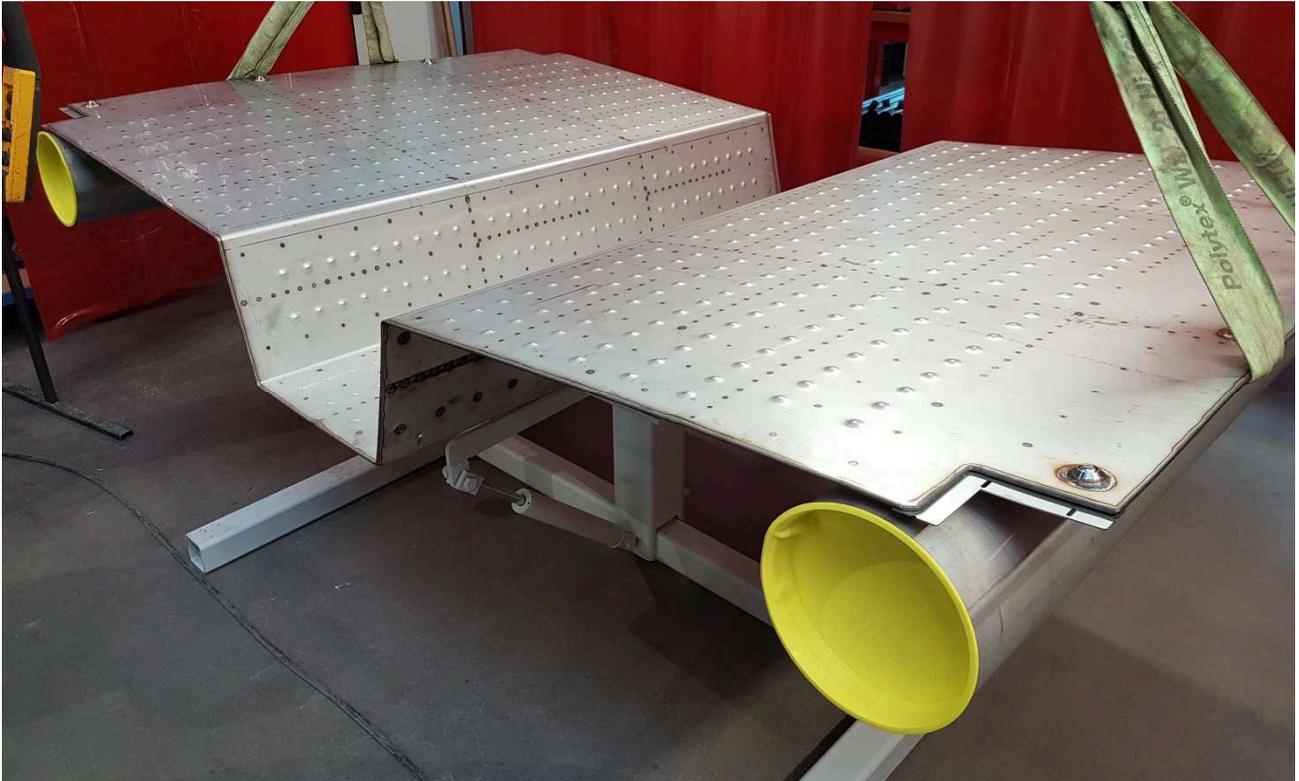


Abb. 3 Nachträglich einsetzbares Wärmetauschermodul

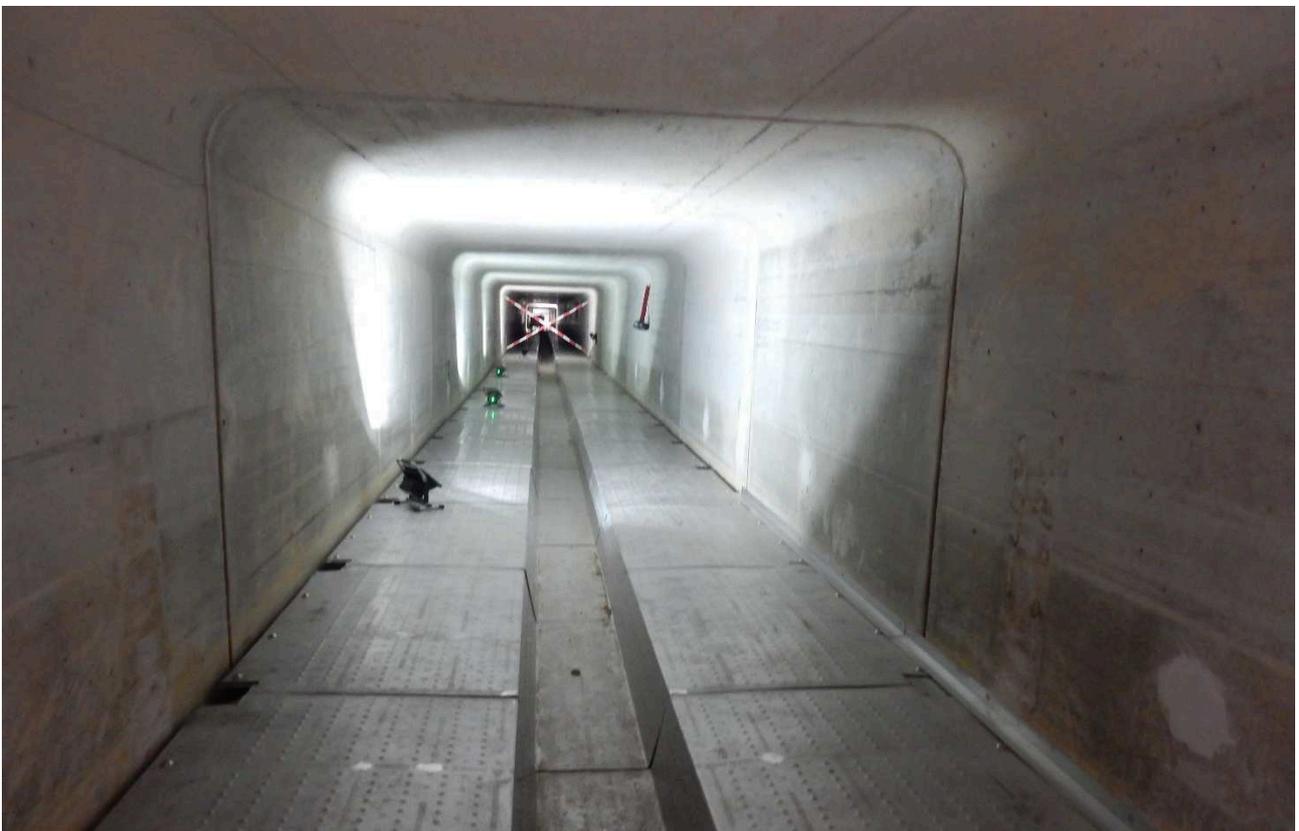


Abb. 4 Nachträglich einsetzbares Wärmetauschermodul im Kanal (Neckarpark, Stuttgart)

2.2.3 „Thermpipe“®

Eine besondere Bauform einer Anlage zur Abwasserwärmenutzung im Kanalnetz stellt das Produkt „PKS-Thermpipe“® der Frank GmbH (Mörfelden-Walldorf) dar.

„Thermpipe“® ist ein Rohr aus leichtem, chemisch- und korrosionsbeständigem Kunststoff (PKS), das in der Regel in Modullängen von 6 m hergestellt wird. Durch das Stützrohr am Außenrohr, das aus statischen Gründen sowieso erforderlich ist, fließt ein Wärmeträgermedium, das die Wärme ableitet. „Thermpipe“® ist deshalb ausschließlich bei Kanalneuerlegungen und besonders auf Strecken ohne oder bei nur wenigen Hausanschlüssen geeignet.

Ein wichtiger Vorteil – und ein wesentlicher Unterschied zu „klassischen“ Abwasserwärmetauschern – ist die Wärmenutzung aus zwei Wärmequellen: dem Abwasser und dem umgebenden Boden. Die vom Abwasser in der Tagesspitze an das Erdreich abgegebene Energie kann somit später wieder genutzt werden.



Abb. 5 „Thermpipe“® mit Stützrohr am Außenrohr für Neuerlegung (Frank GmbH)

2.2.4 Externe Wärmetauscher („Bypasslösung“)

Externe Wärmetauscher benötigen ein Modul zur Entnahme und häufig auch zur (Vor-)Reinigung des Abwassers; zudem muss der entnommene Teilstrom stets gepumpt werden. Diese Systeme sind deswegen in Bau und Betrieb in der Regel aufwendiger als Rinnenwärmetauscher und, wenn Letztere zum Einsatz kommen können, wirtschaftlich unterlegen. Rinnenwärmetauscher sind jedoch nicht immer einsetzbar, und externe Wärmetauscher können im Vergleich zu konventionellen Heizungssystemen ebenfalls eine wirtschaftliche Lösung zur Beheizung von Gebäuden darstellen.

Abb. 6 zeigt eine Prinzipskizze des Gesamtsystems eines externen Wärmetauschers; in Abb. 7 ist das eigentliche Wärmetauschermodul dargestellt.

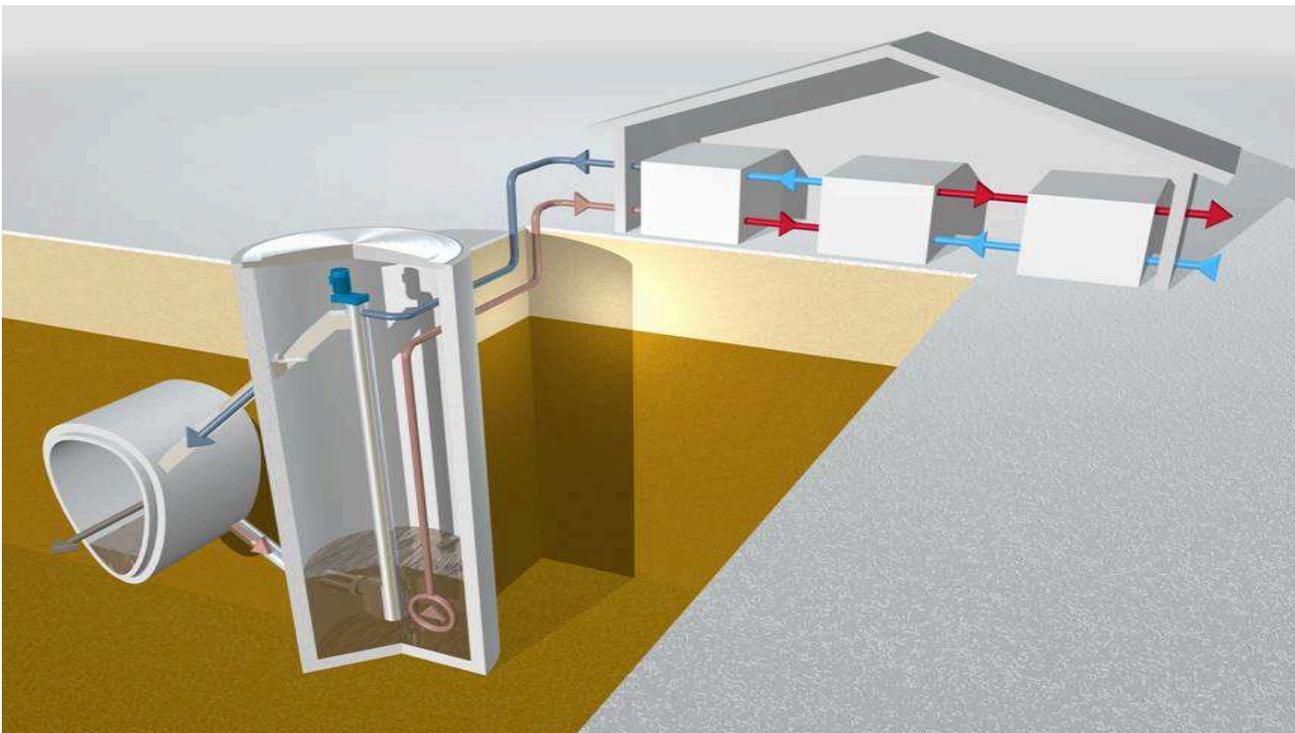


Abb. 6 Prinzipskizze des Gesamtsystems eines externen Wärmetauschers (Quelle: Huber AG, Berching)

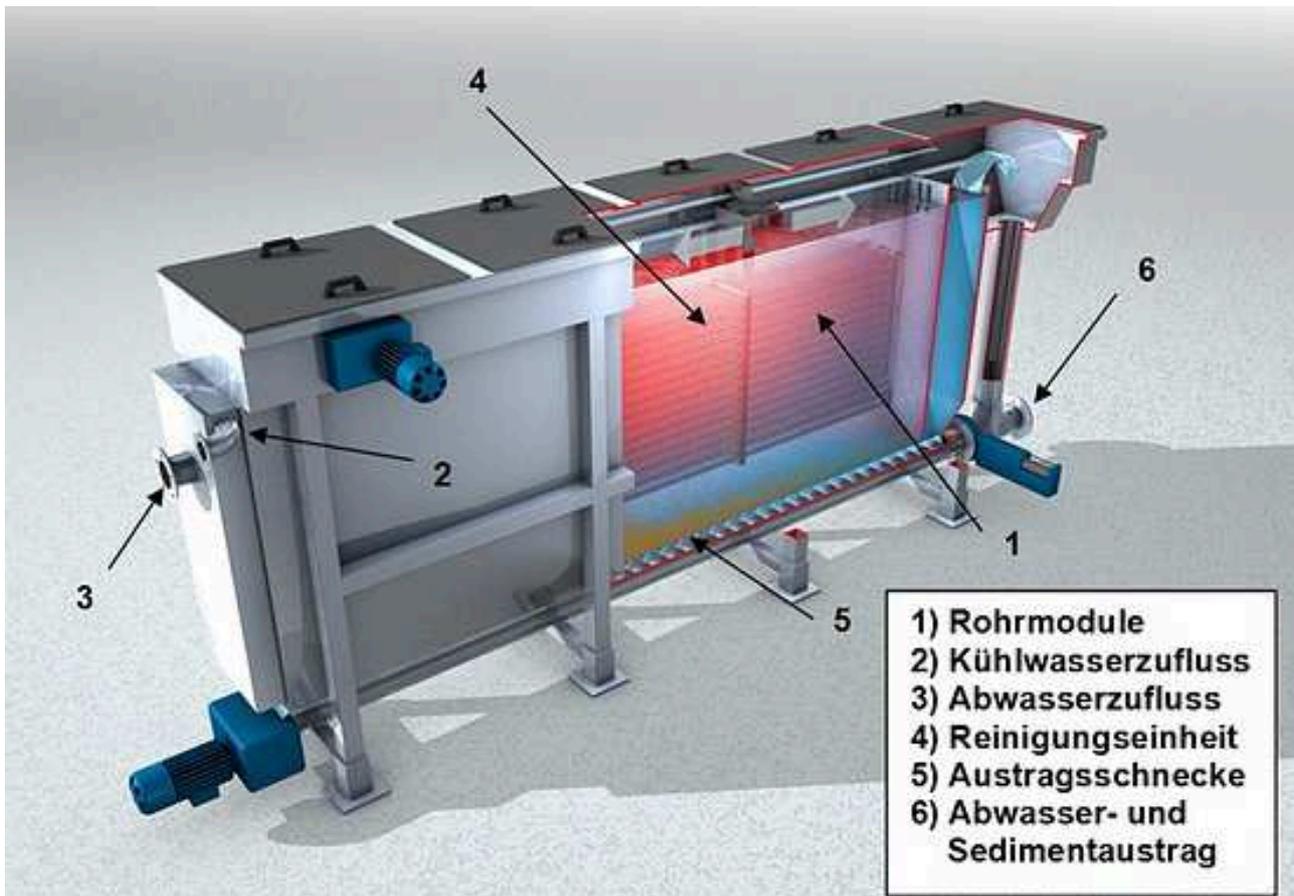


Abb. 7 Wärmetauschermodul eines externen Wärmetauschersystems (Quelle: Huber AG, Berching)

2.2.5 Prinzip der Wärmepumpe

Das bekannteste Beispiel einer Wärmepumpe ist jeder handelsübliche Kühlschrank. Der Kühlschrank entzieht den Lebensmitteln Wärme und gibt diese nach außen ab. Nach demselben Prinzip, nur mit umgekehrter Intention, arbeiten auch Wärmepumpen in der Heiztechnik. Sie entziehen dem Abwasser Wärme (kühlen es also) und geben diese als Heizwärme ab.

Der Wärmepumpenprozess kann in vier Stufen eingeteilt werden, in denen das Kältemittel verschiedene Zustandsänderungen erfährt und die es im Kreis durchläuft:

1. Verdampfung
2. Verdichtung
3. Kondensation (Verflüssigen)
4. Expansion (Entspannen)

1. Verdampfung

Im Verdampfer geht das Kältemittel vom flüssigen in den gasförmigen Zustand über. Die Verdampfung erfolgt unter Zufuhr von Wärmeenergie, die dem Sekundärkreislauf über einen Wärmetauscher in der Wärmepumpe entzogen wird.

2. Verdichtung

Das gasförmige Kältemittel wird vom Kompressor angesaugt und durch die Verdichtung auf einen hohen Druck und eine hohe Temperatur gebracht. Zusätzlich nimmt das Kältemittel die Wärme auf, die der Antriebsenergie des Kompressors entspricht.

3. Kondensation

Das gasförmige Kältemittel wird mit hoher Temperatur in den Kondensator – wiederum ein Wärmetauscher – gedrückt und gibt dort seine Wärme an das Heizungswasser ab. Dabei wird der Kältemitteldampf kondensiert.

4. Expansion

Um den Kältekreislauf wieder zu schließen, muss das Kältemittel vom hohen Druck auf den Ausgangsdruck entspannt werden. Dabei wird das Kältemittel kalt und kann dann im Verdampfer wieder Energie aufnehmen.

Ebenso wie ein Kühlschrank benötigt auch eine Wärmepumpe Antriebsenergie, die meist durch elektrischen Strom geliefert wird. Der Unterschied zwischen Kühlschrank und Wärmepumpe liegt also nur darin, dass abnehmerseitig bei dem einen die Kälte und bei dem anderen die Wärme genutzt wird.

2.2.6 Nutzung zu Kühlzwecken

Im Sommer können Anlagen zur Abwasserwärmenutzung auch zur Raumkühlung eingesetzt werden. Das Abwasser wird dann über die Wärmetauscher erwärmt. Dazu wird das Kältemittel in umgekehrter Richtung gepumpt, was durch ein Ventil erreicht wird (s. Abb. 8). Außerdem wird ein zweites Expansionsventil benötigt. Durch den Zusatznutzen erhöht sich die Wirtschaftlichkeit der Anlage. Aus diesem Grund sollten die Wärmetauscher wo immer möglich auch zu Kühlzwecken genutzt werden.

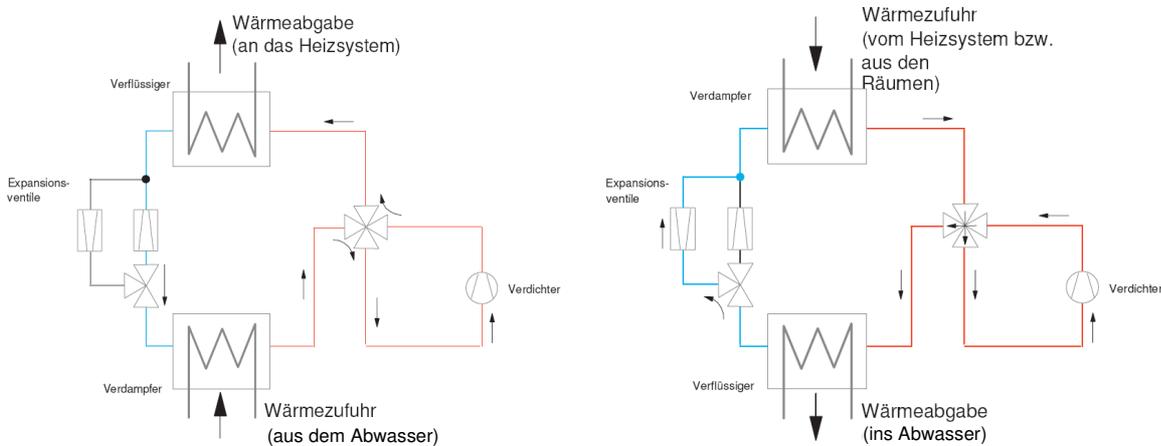


Abb. 8 Vereinfachtes Funktionsschema einer Wärmepumpe mit umkehrbarer Betriebsweise im Heizbetrieb (links) und im Kühlbetrieb (rechts), modifiziert nach /5/

Dabei liegt auf der Hand, dass eine solche Nutzung – viel mehr noch als die Abwasserwärmenutzung – eng mit der Architektur eines Gebäudes verwoben ist und deswegen nur dann sinnvoll sein kann, wenn sie bereits in einem sehr frühen Planungsstadium in Betracht gezogen und optimal in die Nutzungsplanung integriert wird.

2.2.7 Effizienzkriterien

Die Effizienz einer Anlage wird anhand von Kennzahlen beurteilt.

Das Verhältnis zwischen der Wärmeleistung, die ins Heiznetz abgegeben wird, und der aufgenommenen elektrischen Leistung der Wärmepumpe ergibt die Leistungszahl *COP*:

$$\text{Leistungszahl COP [-]} = \frac{\text{Wärmeleistung ins Heiznetz [kW]}}{\text{aufgenommene Leistung der Wärmepumpe [kW]}}$$

Moderne Elektrowärmepumpen erzielen Leistungszahlen zwischen 3,5 und 5,5. Pro Kilowattstunde elektrischer Energie (1 kWh) wird also eine Wärmemenge von 3,5 bis 5,5 kWh in Form von Wärme „erzeugt“.

Die Leistungszahl gilt jedoch nur für einen bestimmten Betriebspunkt und ändert sich in Abhängigkeit von den Abwasser- und Heizungsvorlauftemperaturen ständig. Sie lässt außerdem die Leistung elektrischer Hilfsaggregate unberücksichtigt, die nicht unmittelbar zum Wärmepumpenprozess gehören (z. B. die Umwälzpumpen für den Heizungs- und Zwischenkreislauf).

Für Jahresbilanzen wird deswegen die Jahresarbeitszahl *J* herangezogen. Diese Kennzahl ist der Quotient aus der über ein Jahr hinweg abgegebenen Wärmeenergie (Heizenergie) und der im gleichen Zeitraum insgesamt zugeführten Antriebsenergie für das Wärmepumpensystem:

$$\text{Jahresarbeitszahl J [-]} = \frac{\text{abgegebene Heizwärme im Jahr [kWh]}}{\text{gesamte Antriebsenergie im Jahr [kWh]}}$$

Typische Werte der Jahresarbeitszahl moderner Wärmepumpenanlagen liegen im Bereich über 3,5.

2.3 Beitrag zum Umweltschutz

Die Wärmenutzung aus Abwasser spielt eine wichtige Rolle zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen durch Ersatz von fossilem Energieträger durch erneuerbare Energie aus Abwasser.

Gemeinden können ihre CO₂-Bilanz verbessern, wenn die konventionelle, fossile Heizung eines Gebäudes (z.B. Öl, Gas) durch eine Wärmepumpe ersetzt oder ergänzt wird.

Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch das CO₂-Einsparpotenzial (im Vergleich zu einer Gasheizung) für ein Mehrfamilienhaus und für ein Bürogebäude mit verschiedenen Sanierungsgraden (/13/). In der Analyse wurde mit einem Deckungsanteil der Wärmepumpe (J=4,5) an der Gesamt-Wärmebereitstellung von 82 – 96 % durchgeführt. Das Einsparpotenzial wurde für zwei Durchflüsse - 15 und 100 l/s – ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass durch Verwendung von Abwasserwärme eine CO₂-Einsparung von 26 – 40 % für ein Mehrfamiliengebäude und 39 – 89 % für ein Bürogebäude möglich ist. Diese Werte sind mit dem aktuellen Strommix ermittelt, wenn der Strom aus erneuerbaren Quellen erzeugt wird, ist eine 100 %-ige CO₂-Einsparung möglich.

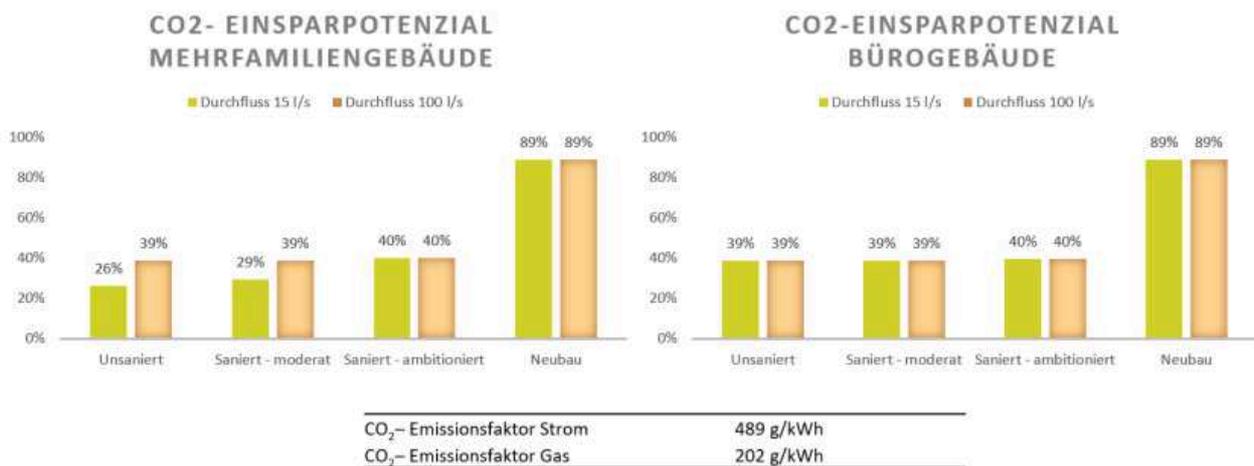


Abb. 9 CO₂-Einsparpotenzial von Mehrfamiliengebäude und Bürogebäude (/13/)

3 GRUNDLAGENDATEN

3.1 Überblick über das Kanalnetz

Das untersuchte Gebiet umfasst das gesamte Kanalnetz der Stadt Aichtal. Damit sind die Kanalnetze der Stadtteile Neuenhaus, Aich und Grötzingen berücksichtigt. Abb. 9 stellt die geografische Lage der Kanäle der Stadt Aichtal dar. Das in den genannten Orten gesammelte Abwasser wird in der KA Aichtal/Grötzingen behandelt. Das Abwasser aus Harthausen (Stadt Filderstadt) wird ebenfalls auf der Kläranlage gereinigt und wurde ebenfalls mit berücksichtigt.

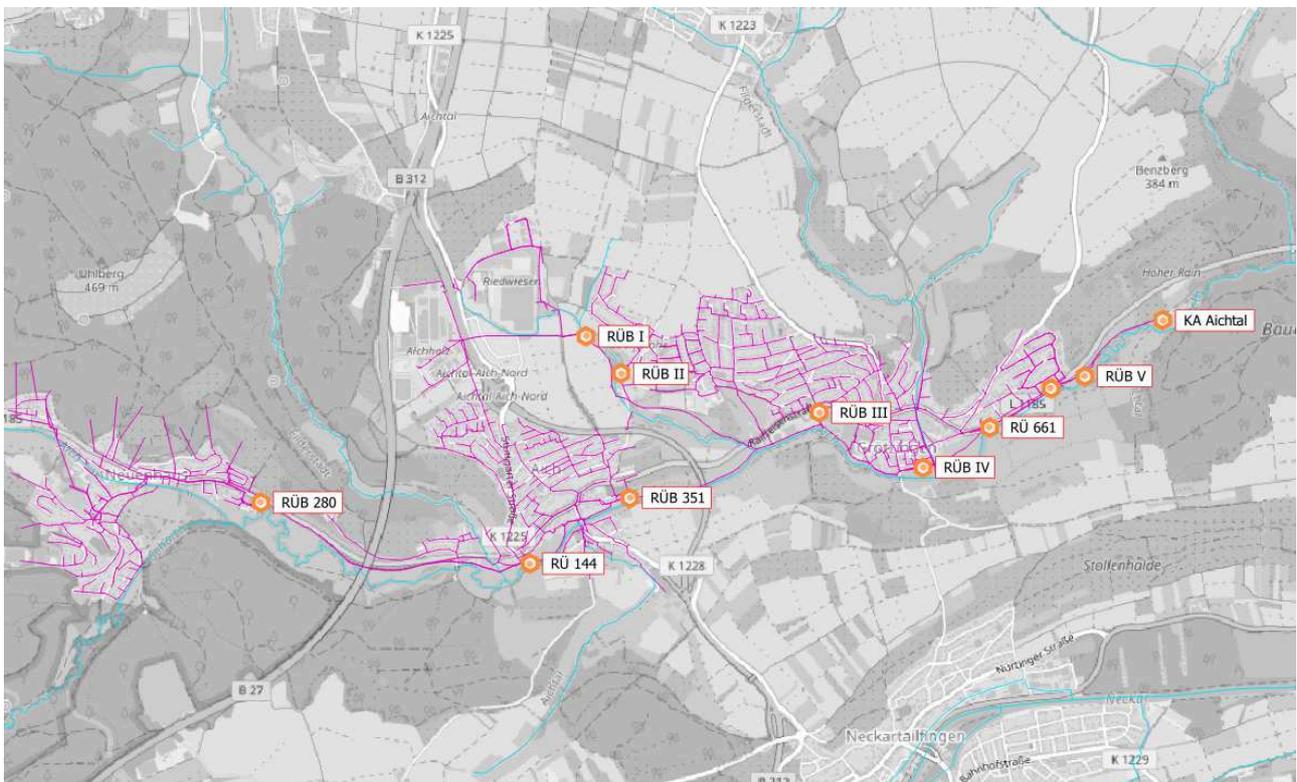


Abb. 10 Untersuchungsgebiet mit relevanten Bauwerken (Hintergrundkarte: OpenStreetMap)

3.2 Trockenwetterdaten

Die Zuflussdaten der Kläranlage wurden von der Stadt Aichtal für die letzten 5 Jahre zur Verfügung gestellt. Diese Daten wurden zunächst auf Plausibilität geprüft und punktuell fachlich korrigiert. Der mittels der Methode des gleitenden Minimums berechnete Tagesmittelwert der fünf Jahre beträgt 32,7 l/s. Dieser Wert passt sehr gut zu den Trockenwetterabflüssen zur Kläranlage, wie sie in der fortgeschriebene Schmutzfrachtberechnung /12/ angesetzt wurden. In der nachfolgenden Abbildung sind die Trockenwetterabflüsse der Kläranlage und die durch das gleitende Minimum ermittelten Abflüsse dargestellt.

Die Ansätze für die Trockenwetterabflüsse aus der Schmutzfrachtberechnung wurden somit als plausibel bewertet.

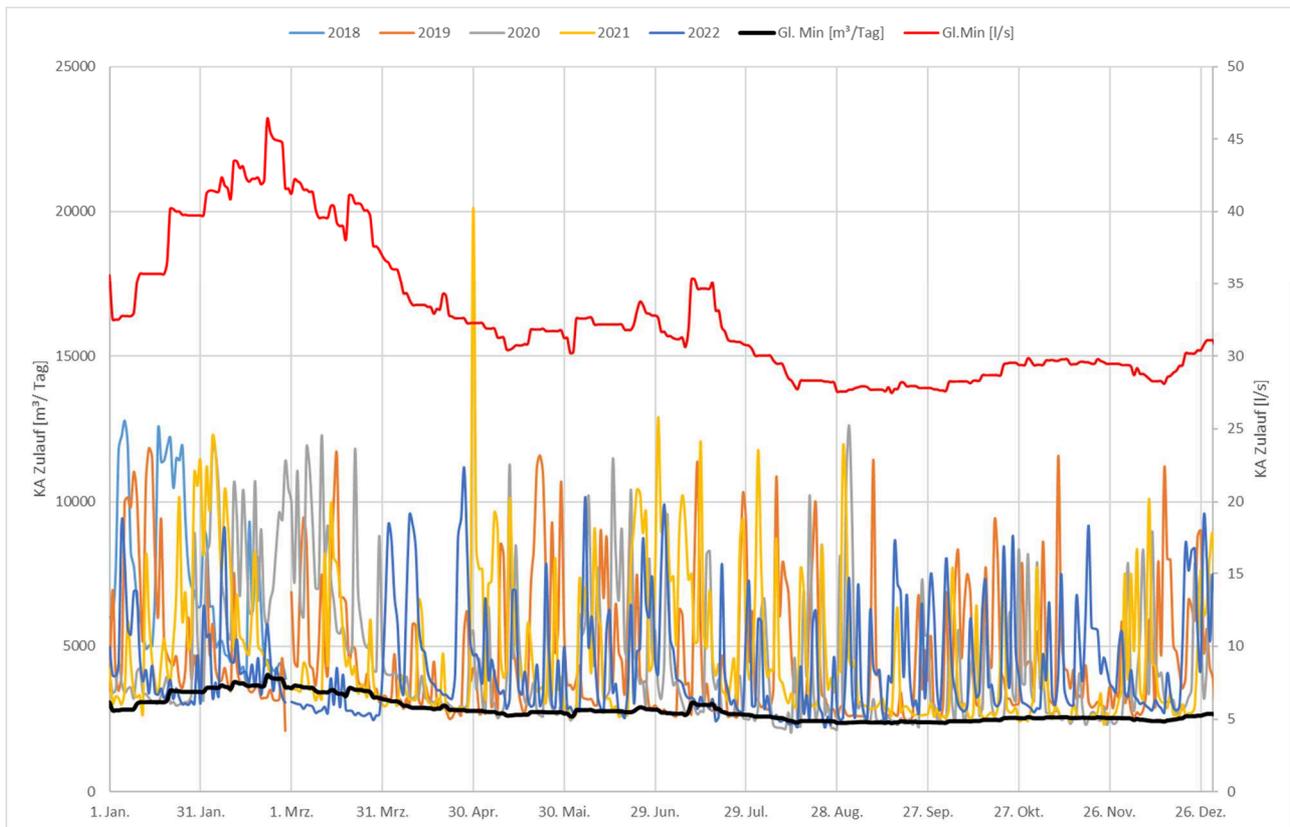


Abb. 11 Auswertung des Zuflusses der KA Aichtal/Grötzingen

Für die räumliche Verteilung des Trockenwetterabflüsse wurden dementsprechend die Werte aus der Schmutzfrachtberechnung verwendet. Dies sind die mittleren Trockenwetterabflüsse (d. h. Schmutzwasser und Fremdwasserabflüsse) aus dem Bestandseinzugsgebiet der KA Aichtal/Grötzingen. Der Schmutzwasserabfluss ist dabei aus Einwohnerwerten sowie aus Einwohnergleichwerten für Gewerbe und Öffentliche Einrichtungen ermittelt, das Fremdwasser über die Methode des "gleitenden Minimums" (/12/). Die aus der Schmutzfrachtberechnung ermittelten Trockenwetterabflüsse sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Für diese Potenzialstudie sind die Abflüsse, orientiert an der Systemskizze, in Richtung der KA aufsummiert worden. Dabei wurden die 10 l/s Trockenwetterabflüsse aus Harthausen ab dem Schacht G-245 mitberücksichtigt. Damit beträgt Summe der Trockenwetterabflüsse im Zulauf zur Kläranlage rd. 30 l/s.

Tab. 1 Trockenwetterabflüsse der Stadt Aichtal aus der Schmutzfrachtberechnung (/12/)

Bauwerke-IST		Bauwerksdaten														
Name	Nr.	Typ	A _{E,b,SW}	V	WS	Fließzeit	soll f _{1/10}	Vorent-	Q _{0,AM}	erf. Q _{1/10}	vorh. Q ₀	ist f _{1/10}	Bem.	Q ₀	fQ ₀ +Q _f	Bem.
		[-]	[ha]	[m³]	[-]	[min]	[l/s*ha]	lastung	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[l/s*ha]	[-]	[l/s]	[l/s]	[-]
Aichtal																
Aichtal	144	RÜ	10,51			11,78	13,66	nein	1,69	145,21	200,00	18,87	O.K.	539,04	13,02	
Aichtal	351	RÜB	19,73	1.615,00			Vs= 81,85	m³/ha	3,33		72,10			2.840,69	70,54	O.K.
Grötzingen																
1.615,00																
Riedwiesen	I	RÜB	32,01	825,00			Vs= 25,77	m³/ha	1,78		100,00			1.854,49	13,73	O.K.
Rudolfshöhe	II	SKO	4,20	290,00			Vs= 69,05	m³/ha	0,68		15,00			502,29	5,28	O.K.
Raiffeisenstr.	III	RÜB	23,92	437,00			Vs= 18,27	m³/ha	4,77		60,00			3.117,87	36,81	O.K.
Uferstraße	IV	SKU	7,10	240,00			Vs= 33,81	m³/ha	1,23		100,00			695,24	9,53	O.K.
Kläranlage	V	SKO	15,72	1.347,00			Vs= 85,68	m³/ha	0,60		220,00			658,49	220,42	O.K.
Nürtinger Str	661	RÜ	7,97			6,87	14,19	nein	1,21	114,26	266,00	33,23	O.K.	926,48	9,37	
Nürtinger Str	708	RÜ	4,43			4,78	14,43	nein	0,72	64,68	240,00	53,97	O.K.	583,45	5,55	
Neuenhaus																
3.139,00																
Schubertstraße	76	RÜ	2,10			4,22	14,49	nein	0,33	30,76	30,00	14,13	O.K.	164,24	2,54	
Welschengasse	89	RÜ	0,88			7,65	14,10	ja	0,14	42,55	25,00	-5,84	Err	242,27	3,60	O.K.
Kirche	120	RÜB	9,39	58,50			Vs= 6,23	m³/ha	1,22		30,00			863,55	9,38	O.K.
Häfenstraße	147/1	RBT	0,20	40,00			Vs= 195,69	m³/ha	0,72		20,00			364,15	6,01	O.K.
Vogelsang	168	RÜ	1,85			4,90	14,41	nein	0,29	26,95	50,00	26,87	O.K.	192,48	2,23	
Bachstraße	175	RÜB	2,43	31,00			Vs= 12,78	m³/ha	0,09		20,00			104,79	2,93	O.K.
Bachstraße	186	SKU	0,76	50,00			Vs= 66,14	m³/ha	0,12		25,00			36,41	20,91	O.K.
Schönaicher S	205	RÜ	1,47			2,45	14,70	nein	0,23	21,77	70,00	47,61	O.K.	161,27	1,77	
Kläranlage	280	RÜB	6,66	214,00			Vs= 32,16	m³/ha	0,94		98,00			630,20	31,83	O.K.
Summe RÜB																
393,50																
			132,62	5.147,50			Vs= 38,81		20,08		220,00					

3.3 Hydraulische Daten

Für die Analysen des hydraulischen Auslastungsgrads wurden von der Stadt Aichtal Auszüge aus den hydraulischen Kanalnetzrechnungen (Ergebnisdatei Hystem-Extran) zur Verfügung gestellt.

Die zur Verfügung gestellte Tabelle enthält u. a. die Dimension des Rohrs, den maximalen Mischwasserabfluss und den Auslastungsgrad der Haltungen. Der maximale Mischwasserdurchfluss mit der Regenhäufigkeit von 0,5 1/a ($Q_{max, 2a}$), d. h. mit einem zweijährlichen Regen, wurde für die Bewertung der Hydraulik in dieser Studie verwendet. Mithilfe der Profilhöhe und des Auslastungsgrads ($Q_{max, 2a} / Q_{voll}$) wurde die Nutzbarkeit der Haltungen für die Abwasserwärme mit oder ohne Einschränkungen bewertet.

3.4 Fern-/Nahwärmenetz

Bereiche mit vorhandenen Fern-/Nahwärmenetzen wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt und sind flächenhaft auf der Energiekarte dargestellt. Konkret handelt es sich um ein kleines Verteilernetz im Bereich der Weiherbachschule, das die Gebäude Schulstraße 21, 23, 25 und der Neubau Ganztagesbetreuung versorgt.

3.5 Abwassertemperaturen

Abwassertemperaturen am Zulauf und Ablauf der KA wurden für die Jahre 2019 bis 2023 von der Stadt zur Verfügung gestellt. Die monatlichen Zulauftemperaturwerte variieren von rd. 10 bis 19 °C. In der nachfolgenden Abbildung ist beispielhaft die Ganglinie der Zulauftemperatur (Monatswerte) vom 2022 dargestellt.

Da für eine aussagekräftige, statistische Auswertung Tageswerte erforderlich sind (derzeit technisch aber nicht zur Verfügung gestellt werden können¹), wurde keine weitere Analyse der Abwassertemperaturen durchgeführt.

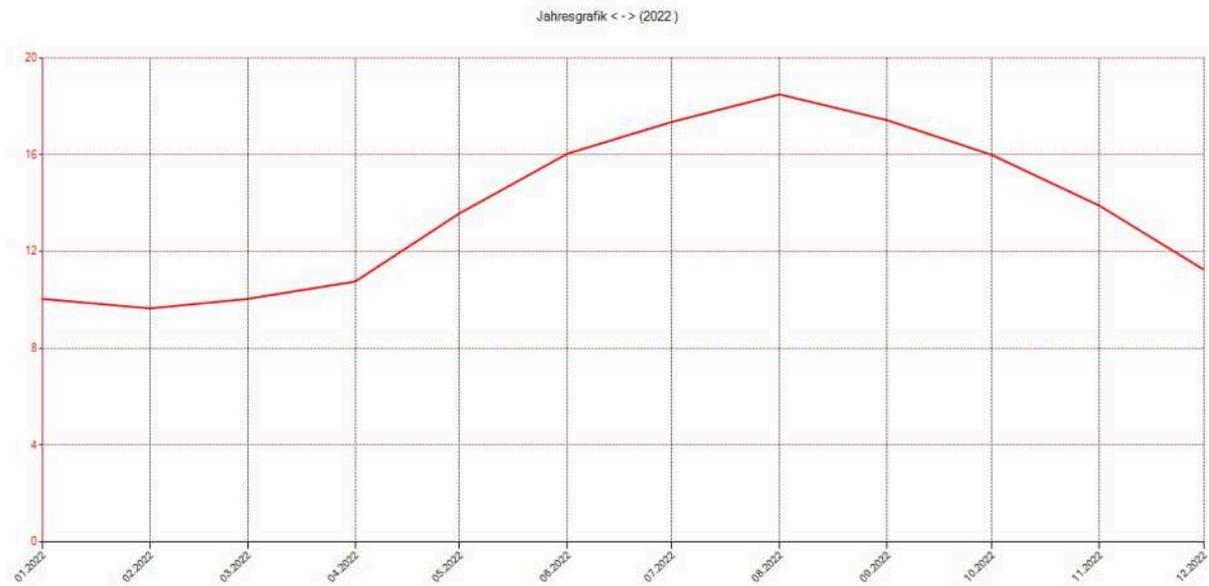


Abb. 12 Monatswerte der Abwassertemperatur am Zulauf KA (2022)

¹ Nach Fertigstellung dieses Berichts wurden die Temperaturdaten zur Verfügung gestellt. Die Auswertung ist separat als Anlage 2 angefügt.

4 ENERGIEKARTE

4.1 Auf der Energiekarte dargestellte Kriterien

Die Energiekarte ist das zentrale Hilfsmittel zur systematischen Suche nach geeigneten Standorten. Dies gilt sowohl für den Bestand als auch für zukünftige Entwicklungen. Auf einer Energiekarte werden die Grenzkriterien aggregiert dargestellt, die für einen wirtschaftlichen Betrieb einer Abwasserwärmenutzungsanlage angenommen werden können.

Die genannten Grenzkriterien ergeben sich dabei z. B. aus dem DWA-Merkblatt M 114 (/7/) und lauten ...

- bezogen auf das Kanalnetz:
 - ein Mindestabfluss von 15 l/s (mittlerer Trockenwetterabfluss $Q_{T, d, aM}$)
 - ein Mindestdurchmesser von DN 1000
 - eine ausreichende hydraulische Kapazität der Haltung nach Querschnittsverengung durch den Rinnenwärmetauscher
- bezogen auf den Abstand des Wärmenutzers zum Kanal:
 - eine Umgebung von 150 m (Bereich 1) bzw. 300 m (Bereich 2) um den Kanal

4.2 Mittlerer Trockenwetterabfluss

Der (langjährige) mittlere Trockenwetterabfluss $Q_{T, d, aM}$ der einzelnen Haltungen steht zum einen für das zur Verfügung stehende Wärmepotenzial, das mithilfe von Wärmetauschern entzogen werden kann; zum anderen stellt ein Mindestabfluss im Kanal bei Rinnenwärmetauschern sicher, dass diese überhaupt überströmt werden.

Die Trockenwetterabflüsse wurden, wie in Kapitel 3.2 erwähnt, aus der Schmutzfrachtberechnung entnommen. Für den Fall, dass sich im Rahmen von Machbarkeitsstudien der Abwasserabfluss für ein konkretes Projekt als ein limitierender oder kritischer Faktor herausstellt, muss vor der Einleitung weiterer Planungsschritte der geschätzte Wert des Abflusses unbedingt durch Messungen bestätigt werden.

4.3 Hydraulische Auslastung

Anhand der beigestellten Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen (AKP/GEP) wurde die hydraulische Leistungsfähigkeit als Kriterium in die Energiekarten aufgenommen. Ist der Auslastungsgrad beim Bemessungsregen höher als der jeweilige Grenzwert, wird die hydraulische Leistungsfähigkeit als „nicht ausreichend“ bewertet, sodass eine Nutzung nachträglich installierter Wärmetauscher infrage gestellt ist.

Da die Querschnittsverengung durch nachträgliche Wärmetauscher anteilig umso geringer ist, je größer die Rohrdurchmesser sind, wurde der Grenzwert gestaffelt definiert:

- Kleiner als DN 1000 wurden die Rohrdurchmesser gemäß /7/ wegen ihrer nicht ausreichenden Profilhöhe als „nicht begehbar“ beurteilt und deswegen unabhängig von ihrem Auslastungsgrad als „eingeschränkt nutzbar“ klassifiziert,
- Kanäle zwischen DN 1000 und DN 1400 mit bis zu 90 % Auslastungsgrad wurden als „un-eingeschränkt nutzbar“ eingeschätzt und

- Kanäle größer als DN 1400 mit bis zu 95 % Auslastungsgrad als „uneingeschränkt nutzbar“ klassifiziert.

Skizzen von Ausführungsarten nachträglich eingebauter Wärmetauscher sind beispielhaft in Anhang 2 zu finden (aus /6/).

Ebenfalls ist zu beachten, dass ein geringeres Gefälle zu verstärkten Ablagerungen im Abwasserkanal führt, was die Wärmeentzugsleistung von Rinnenwärmetauschern negativ beeinflusst. Das Gefälle wurde in dieser Studie nicht bewertet, weil es im Rahmen des sehr allgemeinen Ansatzes schwierig war, für konkrete Abschnitte des Kanals eine zuverlässige Aussage zu treffen. Eine Bewertung des Gefälles sollte deswegen in einer Machbarkeitsstudie jeweils für den konkreten Einbauort vorgenommen werden.

4.4 Abstand des Wärmenutzers vom Kanal

Der Abstand des Wärmenutzers vom Kanal beeinflusst vor allem über die Trassenpreise die Wirtschaftlichkeit. Wärmeverluste können in der Regel vernachlässigt werden, weil sich das Temperaturniveau des Zwischenkreislaufs nicht sehr von dem des umgebenden Bodens unterscheidet.

Die Literaturangaben zum wirtschaftlich vertretbaren Abstand des Wärmenutzers vom Kanal schwanken zwischen 100 und 200 m und hängen auch stark von der entzogenen Wärmemenge ab. Auf der Energiekarte wurde ein Abstand von 150 m eingetragen. Hinzugefügt wurde ein zusätzlicher Abstand von 300 m, weil unserer Einschätzung nach die Bedeutung der Trassenpreise etwas überschätzt wird, die z. B. – je nach konkreter Umgebung – durch moderne Bauverfahren oder die Nutzung bestehender Seitenstränge deutlich gesenkt werden können.

Bei Anlagen mit hoher Entzugsleistung kann die Abwasserwärmenutzung auch bei größeren Entfernungen als 300 m wirtschaftlich sein und sollte deswegen ggf. in konkreten Machbarkeitsstudien näher betrachtet werden (/7/).

4.5 Potenzielle Wärmenutzer

Anhand der Angaben der Stadt wurden potenzielle Wärmenutzer in der Energiekarte dargestellt. Diese sind:

- Vision Pflegeeinrichtung, Schulstraße 28
- Bildungscampus Weiherbach, Schulstraße 23
- Sporthalle/Mehrzweckhalle, Aichbachwasen 4
- Betreutes Wohnen/Pflege, Häfnerstraße 23
- Und der geplante Gewerbeimmobilien Margarete Steiff Straße

Die ersten zwei Gebäuden liegen in vertretbarer Entfernung von für die Abwasserwärmenutzung geeigneten Haltungen.

4.6 Erläuterung der Legenden

Als prinzipiell nutzbar gelten alle Haltungen, die einen mittleren Trockenwetterabfluss von mehr als 15 l/s aufweisen (s. o.). Dann erfolgte eine weitere Bewertung, der die Profilhöhe (größer als DN 1000) und die Hydraulik zugrunde gelegt wurden. Die Haltungen wurden so als „ohne“ bzw. „mit Einschränkungen“ nutzbar klassifiziert. Eine Abwasserwärmenutzungsanlage im Bypass wäre aber in jedem Fall möglich.

Da die Leistung, die in Form von Wärme dem Abwasser entzogen wird, nicht nur vom Abwasservolumenstrom abhängt, sondern auch von der Temperaturdifferenz, um die dieser Volumenstrom abgekühlt wird, ist auf der Energiekarte keine absolute Wärmeleistung angegeben. Vielmehr ist – über die Strichstärke der Haltungen – die spezifische Wärmeleistung pro Kelvin Abkühlung in kW/K angegeben. Dabei wurde eine Klassifizierung in die Bereiche „kleiner als 100 kW/K“, „zwischen 100 und 115 kW/K“ und „größer als 115 kW/K“ vorgenommen.

5 BESCHREIBUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Energiekarte sind in Tab. 2 zusammengefasst. Eine Gesamtlänge von 2,2 km der untersuchten Haltungen der Stadt Aichtal kommt für eine Abwasserwärmenutzung infrage.

Für das Kanalnetz der Stadt Aichtal sind 25 % der näher betrachteten Haltungen als „geeignet ohne Einschränkungen“ (Querschnitt größer als DN 1000 und ausreichende hydraulische Leistungsfähigkeit) einzustufen (Tab. 2).

Tab. 2 Statistische Auswertung der Ergebnisse der Energiekarte

Länge aller betrachteten Haltungen [m]	Länge aller näher betrachteten Haltungen (mit oder ohne Einschränkungen) [m]	Länge der Haltungen ohne Einschränkungen [m]
73.984	2.165	546

Die Stärke der Energiekarte lässt sich jedoch nicht in Zahlen ausdrücken, sondern liegt vielmehr in der grafischen Verknüpfung der relevanten Haltungen mit der um diese herum gelegenen, für die Abwasserwärmenutzung interessante Umgebung. Laut der Karteninformation der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) sind im Bereich der für Abwasserwärme geeigneten Kanäle Wohnflächen mit einem spezifische Wärmebedarf von 205 bis 225 kWh/(m²*a) vorhanden. Der potenzielle Wärmenutzer in der Schulstraße (s. Kapitel 4.5) liegen nicht mehr als 150 m entfernt von dem für Abwasserwärme geeignete Kanal. Für dieses Gebäude ist demnach eine wirtschaftliche Wärmenutzung aus Abwasser möglich.

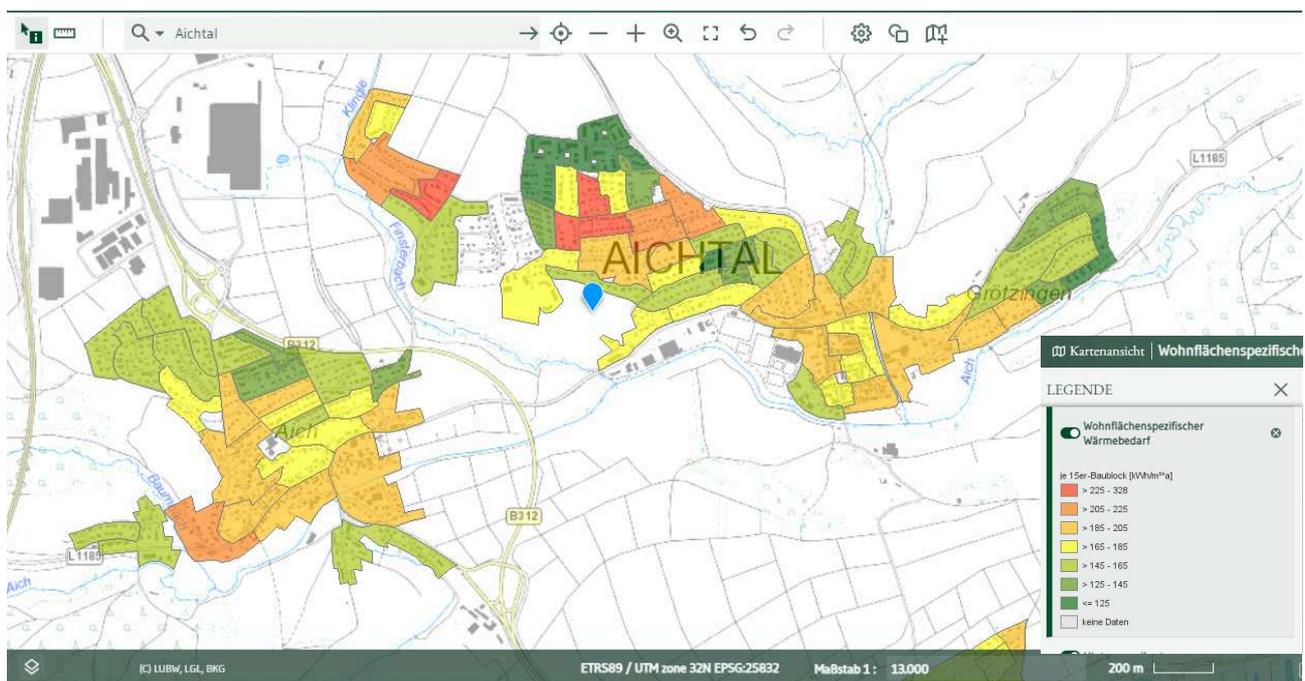


Abb. 13 Wohnflächenspezifischer Wärmebedarf der Stadt Aichtal (Quelle LUBW)

6 UMWELTSCHUTZ/NACHHALTIGKEIT/KLIMASCHUTZ

Mit der Beauftragung dieser Potenzialstudie hat die Stadt Aichtal einen wichtigen Schritt für den Umweltschutz, die Nachhaltigkeit und den Klimaschutz getan.

Denn mit dieser Studie wird das Potenzial zur Abwasserwärmenutzung strategisch erfasst. Sie stellt somit die Basis für die gezielte Nutzung dieser zukunftsfähigen Technologie dar.

Die Bedeutung der Abwasserwärmenutzung liegt in der Nutzung von Umweltwärme (bzw. Abwärme) auf einem vergleichsweise hohen Temperaturniveau – dadurch steigt die Effizienz der jeweiligen Wärmepumpe.

Klinger und Partner
Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH

Mittlerer Pfad 5 • 70499 Stuttgart
Telefon: 0711 693308-0 • Telefax: 0711 693308-99
E-Mail: info@klinger-partner.de
Internet: <http://www.klinger-partner.de>

Aufgestellt:
Mehari G. Haile, Dr.-Ing.
Jan Butz, Dr.-Ing.

Stuttgart, 10.10.2023
TS-06349 köm/hai/hai-jb



Andreas Maier
Geschäftsführer

i. A.



Dr. Mehari Haile
Projektleiter

ANHANG MIT VERZEICHNIS

- | | | |
|---|---|----------|
| 1 | Schemadarstellung einer Anlage zur Abwasserwärmenutzung /1/ | Seite 29 |
| 2 | Skizzen von Ausführungsarten nachträglich eingebauter Wärmetauscher /6/ | Seite 30 |

Anhang 1

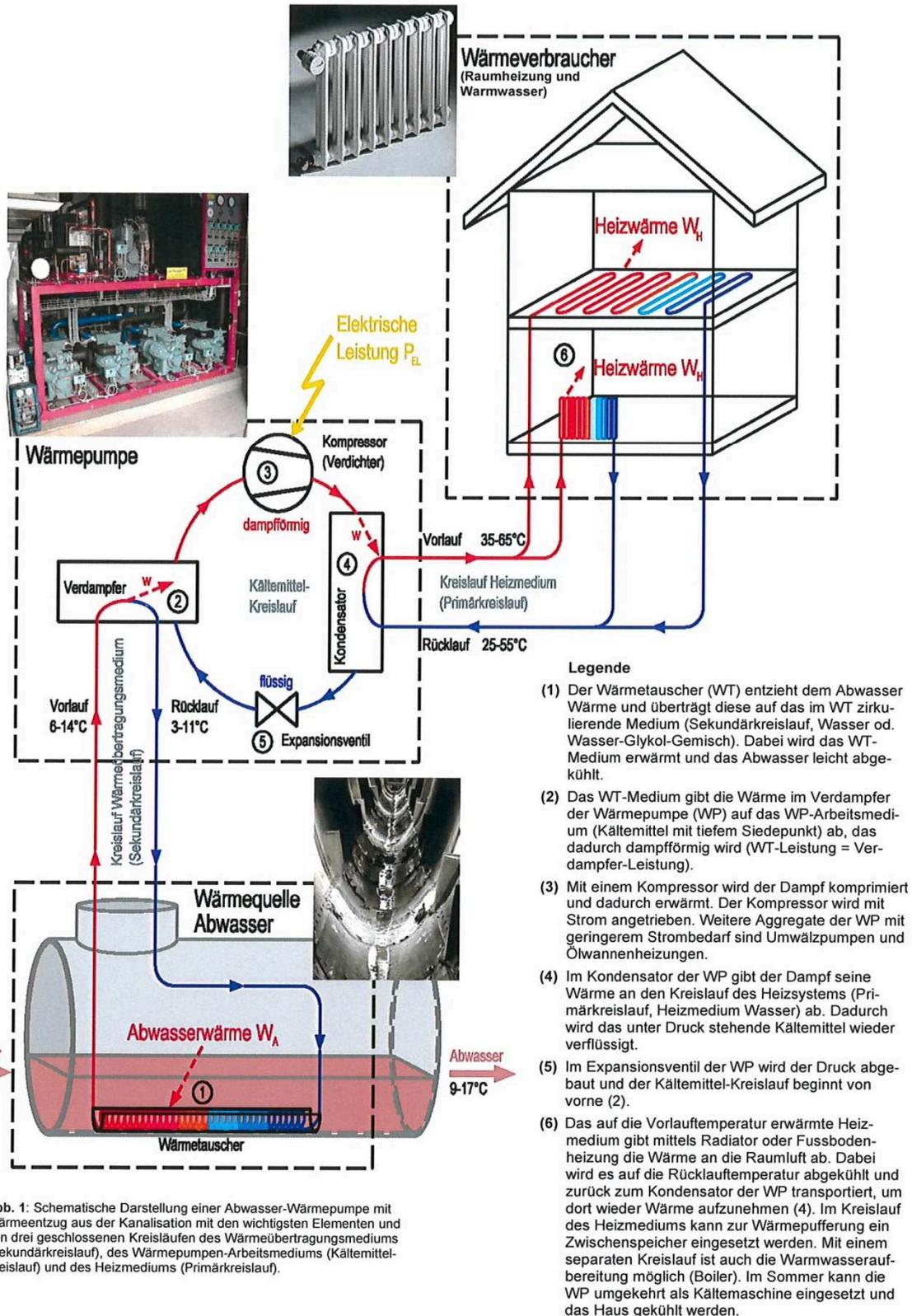
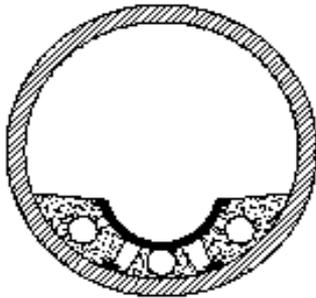
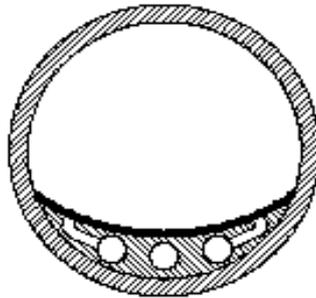


Abb. 1: Schematische Darstellung einer Abwasser-Wärmepumpe mit Wärmeentzug aus der Kanalisation mit den wichtigsten Elementen und den drei geschlossenen Kreisläufen des Wärmeübertragungsmediums (Sekundärkreislauf), des Wärmepumpen-Arbeitsmediums (Kältemittel-Kreislauf) und des Heizmediums (Primärkreislauf).

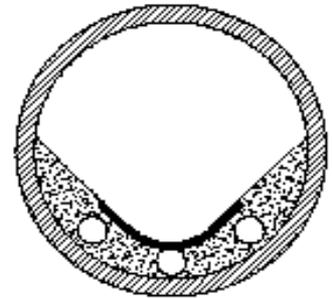
RABTHERM[®]



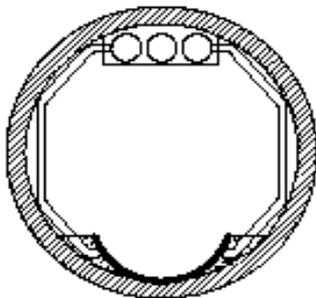
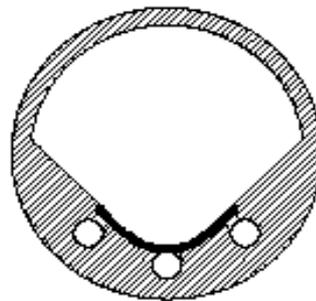
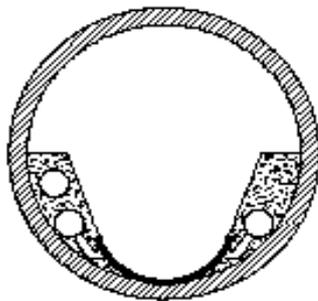
Zürich-Wipkingen



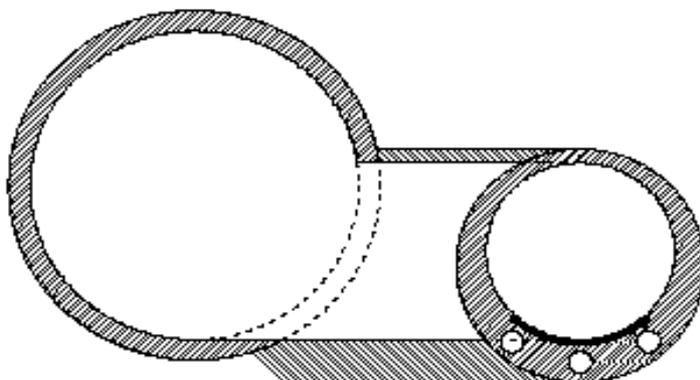
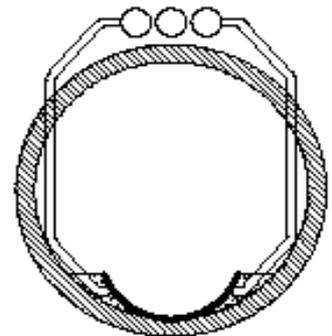
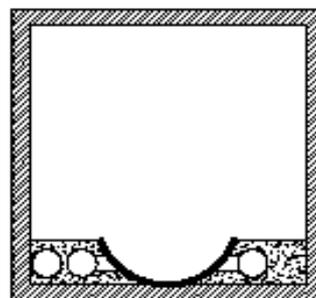
Singen D



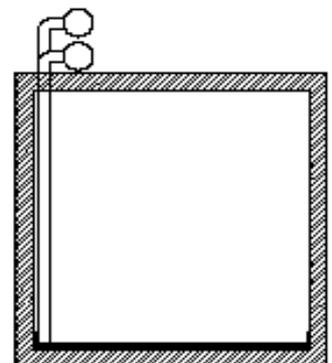
Leverkusen D



Maienried Wülflingen



Kanal mit Rabtherm-Bypass Wülflingen



Zwingen

Pl: Vorlagen/CAD/Einbau WT1

ANLAGENVERZEICHNIS

- 1 Energiekarte
- 2 Auswertung Abwassertemperatur

M.: 1 : 3.000

UNTERLAGENVERZEICHNIS

- 1 Buri, R. & Kobel, B.: Energie aus Abwasser – Leitfaden für Ingenieure und Planer. Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Osnabrück, Bern (Schweiz) 2005
- 2 Wärmetauscher im Kanal – theoretische Grundlagen, Klinger, H. & Weber, S., KA Abwasser Abfall, 51(6), 2004, S. 608–612
- 3 Heizen und Kühlen mit Abwasser. Ratgeber für Bauherrschaften und Gemeinden. Hrsg.: EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie, Bern (Schweiz)
- 4 Heizen und Kühlen mit Abwasser – Ratgeber für Bauherren und Kommunen. Hrsg.: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V., Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Arbeitsgemeinschaft für sparsame Energie- und Wasserverwendung (ASEW), GbR im Verband kommunaler Unternehmen, Institut Energie in Infrastrukturanlagen. München, Osnabrück 2005
- 5 Burger, H. & Meier-Wiechert, G. (2005): Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen. BHKS-Almanach 2005. S. 21–28
- 6 Studer, U.: Rabtherm – Abwasser, die ungenutzte Wärmequelle. Information der Firma Rabtherm
- 7 DWA M 114, „Abwasserwärmenutzung“. DWA, Hennef (Sieg), April 2020
- 8 Müller, E. A. & Butz, J. (2010): Abwasserwärmenutzung in Deutschland – aktueller Stand und Ausblick. KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall 57(5), S. 437–442
- 9 Anpassung einer Software zur Simulation der Abwassertemperatur auf baden-württembergische Verhältnisse und Anschubfinanzierung zur Reaktivierung eines bestehenden Abwasserwärmetauschers, Forschungsprojekt der Universität Stuttgart (Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft), des IB Klinger und Partner GmbH (Stuttgart) und des Steinbeis-Transferzentrums Technische Beratung an der Hochschule Esslingen, Förderung durch das Umweltministerium Baden-Württemberg
- 10 Schmutzfrachtberechnung / AKP Stadtteile Aich + Grötzingen, Ing. Büro W. Walter, September 2010
- 11 Schmutzfrachtberechnung / AKP Stadtteil Neuenhaus, Ing. Büro W. Walter, März 2008
- 12 Schmutzfrachtberechnung Stadt Aichtal (Fortschreibung), Ing. Büro W. Walter, 19. Juli 2023
- 13 Kommunales Abwasser als Potenzial für die Wärmewende, ifeu (S. Fritz, M. Pehnt), Sep. 2018