

STADT FREIBURG UMWELTSCHUTZAMT

Machbarkeitsstudie Abwasserwärmenutzung Stadtteil Dietenbach

Erläuterungsbericht

Stand: 21.06.2021
modifiziert: 22.10.2021

Projekt-Nr. TS-05517

Digitale Fertigung

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Machbarkeitsstudie zur Abwasserwärmenutzung werden Möglichkeiten zur Nutzung der Abwasserwärme als Element der nachhaltigen Wärmeversorgung des geplanten Freiburger Stadtteils Dietenbach untersucht. Als Wärmequelle könnte der Hauptsammler des Abwasserzweckverbands Breisgauer Bucht (AZV) dienen, der unmittelbar südlich des geplanten Gebiets verläuft.

Zunächst fand eine umfangreiche Grundlagenerhebung statt. Die zentralen Ergebnisse dieses Arbeitsschritts waren:

- Es wird von einer Bemessungswassermenge von 150 l/s ausgegangen.
- Es wird von einer Bemessungstemperatur von 12 °C ausgegangen.
- Sowohl der AZV, als auch die Stadt Freiburg lehnen einen Wärmeentzug im Kanal (z.B. über Rinnenwärmetauscher) ab. Der Wärmeentzug soll im Bypass erfolgen.
- Der Stadt wurde vom AZV ohne Einschränkungen eine Entzugsleistung von bis zu 600 kW für das Gebiet Dietenbach zugestanden.
- Unter der Voraussetzung, die Abwasserwärmenutzungsanlage bei Abwassertemperaturen im Belebungsbecken von unter 12 °C abschalten zu können, werden der Stadt auch höhere Entzugsleistungen zugestanden. Diese Abschalloption ist für die Wärmeversorgung unkritisch, da die Energiezentrale bivalent bzw. multivalent konzipiert wird.

Auf Basis der Grundlagenerhebung wurde für zwei Varianten die technische Machbarkeit geprüft und ein Vergleich der Wirtschaftlichkeit auf Grundlage der Jahreskosten vorgenommen. Der Wärmeentzug beträgt dabei jeweils 2 MW. Untersucht wurde:

Variante 1: Druckrohrwärmetauscher (z.B. Fa. Kasag)

Variante 2: Rohrbündelwärmetauscher in Wanne (z.B. Fa. Huber)

Beide Varianten haben den Vorteil, dass sie ohne Leitungen innerhalb des Schutzstreifens auskommen, der entlang des Hauptsammlers besteht.

Für die Varianten ergaben sich Investitionskosten (brutto) von 4.300.000 € (Variante 1) und 3.080.000 € (Variante 2).

Bei gleicher Entzugsleistung (2 MW) ergaben die Kostenermittlungen Jahreskosten von 263.000 €/a (Variante 1) und 184.000 €/a (Variante 2).

Daraus ergeben sich bei 4.500 Volllaststunden spezifische Kosten von 29,2 €/MWh (Variante 1) und 20,4 €/MWh (Variante 2).

Bei einem Vergleich der Kosten ist zu beachten, dass der Platz, der für die Variante 2 innerhalb der Heizzentrale für die Wärmetauscher zur Verfügung gestellt werden muss, in diesen nicht enthalten ist. Bei der Planung der Heizzentrale wurde dieser Platz allerdings bereits berücksichtigt.

Angesichts der ermittelten, spezifischen Kosten wird die Abwasserwärmenutzung in beiden Fällen als wirtschaftlich erachtet. Sie sollte als ein Standbein der erneuerbaren Energieversorgung des Stadtteils Dietenbach dienen.

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	2
Inhaltsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	5
1 Veranlassung und Aufgabenstellung	7
2 Grundlagen und Rahmenbedingungen	11
2.1 Energiekonzept	11
2.2 Abwasserkanal	12
2.2.1 Ingenieurbauwerk.....	12
2.2.2 Abwasserabfluss	13
2.2.3 Abwassertemperatur	14
2.3 Grundwasser	14
2.4 Vorauswahl des Entzugssystems	15
2.5 Auswirkungen auf die Kläranlage	15
2.5.1 Bedeutung der Auswirkungen auf die Kläranlage.....	15
2.5.2 Abschätzung der Wiedererwärmung des Abwassers zwischen dem Ort des Wärmeentzugs und der Kläranlage	15
2.5.3 Vergleichende Betrachtung der Abwassertemperaturen auf der Kläranlage im Bestand	17
2.5.4 Unterschreitung einer Abwassertemperatur von 12 °C im Belebungsbecken.....	19
3 Variante 1: Doppelrohr-Wärmetauscher	21
3.1 Darstellung des Entzugssystems	21
3.2 Bemessung	22
3.3 Skizzenhafte Darstellung des vorgeschlagenen Systems	23
3.4 Kostenermittlung	25
3.4.1 Investitions- und Betriebskosten	25
3.4.2 Stromkosten	26
3.4.3 Jahreskosten	26
4 Variante 2: Rohrbündelwärmetauscher im Bypass	27
4.1 Darstellung des Entzugssystems	27
4.2 Bemessung	28
4.3 Skizzenhafte Darstellung des vorgeschlagenen Systems	29
4.4 Kostenermittlung	30
5 Einschätzung und Vergleich der ermittelten Kosten	32



6	Priorität der Wärmenutzung	33
	Unterlagenverzeichnis	35

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1	Daten Doppelrohr-Wärmetauscher System.....	23
Tab. 2	Investitions-, jährliche Kapital- und Wartungskosten Variante 1 (Druckrohrwärmetauscher)	25
Tab. 3	Stromkosten Variante 1 (Druckrohrwärmetauscher)	26
Tab. 4	Jahreskosten Variante 1 (Druckrohrwärmetauscher)	26
Tab. 5	Daten Bypass System.....	29
Tab. 6	Investitions-, jährliche Kapital- und Wartungskosten Variante 2 (Bypass-Wärmetauscher)	30
Tab. 7	Stromkosten Variante 2 (Bypass-Wärmetauscher)	31
Tab. 8	Jahreskosten Variante 2 (Bypass-Wärmetauscher)	31
Tab. 9	Qualitativer Vergleich der Varianten.....	32

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1	Luftbild / städtebaulicher Kontext Dietenbach, aus /1/.....	7
Abb. 2	Luftbild Plangebiet Dietenbach, aus /1/.....	8
Abb. 3	Rahmenplan Dietenbach (Stand Bürgerentscheid 2019, aus /1/)	9
Abb. 4	Flächenlayout Energiezentrale, ergänzt aus: Energiekonzept Dietenbach, Ingenieurbüro EGS, 23.03.2021	11
Abb. 5	Ausschnitt aus Plan „Böschung DN 2030 mit Ersatzkanal, Böschungsplan“, Abwasserzweckverband Breisgauer Bucht, 29.01.2021 (Blickrichtung in Fließrichtung)	12
Abb. 6	Foto des Abwassersammlers in der Mundenhofer Straße, ca. Höhe Heizzentrale	13
Abb. 7	Tagesgang der Durchflussmenge (Mittelwerte von der Messungen von 2016 bis 2020)	14
Abb. 8	Übersicht über die Abflussverhältnisse in den Verbandssammlern des AZV (erweitert nach /3/)	16
Abb. 9	Unterschreitungshäufigkeiten der Abwassertemperaturen im Belebungsbecken der Kläranlage im Vergleich mit anderen Kläranlagen aus Baden-Württemberg (aus /3/)	18
Abb. 10	Vergleich der Abwassertemperaturen im Zulauf zur Kläranlage im Mittel unterschiedlicher Zeiträume.....	18
Abb. 11	Statistische Häufigkeit, mit der eine Unterschreitung der Abwassertemperatur von 12 °C auftritt (je klassifizierter Dauer der Unterschreitung, Daten von 2012 bis 2017)	19
Abb. 12	Abwassertemperaturen im Belebungsbecken aufgetragen über der Lufttemperatur auf der Kläranlage (Daten von 03/2011 bis 08/2018)	20
Abb. 13	Querschnitt und technische Zeichnung eines Doppelrohr-Wärmetauschers (Quelle: KASAG AG).....	21
Abb. 14	Foto einer Baustelle zum Einbau von Doppelrohrwärmetauschern	22
Abb. 15	Schema der Wärmetauscheranlage mit Doppelrohrwärmetauscher mit Darstellung des Tichelmann-Prinzips bei mittigem Anschluss	22
Abb. 16	Anordnung des Druckrohr-Wärmetauschers (Kartenausschnitt nicht genordet, Quelle Luftbild: Google Maps © 2021 GeoBasis-DE/BKG (© 2009).....	24
Abb. 17	Skizze Ausleitbauwerk (Hintergrund: Plan „Böschung DN 2030 mit Ersatzkanal, Böschungsplan“, Abwasserzweckverband Breisgauer Bucht, 29.01.2021)	24
Abb. 18	Darstellung des Entzugssystems der Variante 2 (Bypass) mit Entnahme, Vorsiebung und Bypass-Wärmetauscher (Quelle: Huber AG)	27
Abb. 19	Bypass-Wärmetauscher mit „Durchlaufbecken“/„Wanne“ und eingehängten Rohrbündelwärmetauschern der Variante 2 (Bypass) (Quelle: Huber AG).....	28



Abb. 20	Anordnung des Entnahmebauwerks in der Variante 2 (Bypass, Kartenausschnitt nicht genordet, Hintergrund: Koordinierter Leitungsplan, Übersichtslageplan, Plan-Nr. 00SO02LK01001, Stand 15.10.2019))	30
---------	--	----

1 VERANLASSUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Die Stadt Freiburg legt großen Wert auf die Erreichung Ihrer Klimaschutzziele. Dazu ist u.a. eine nachhaltige Versorgung mit CO₂-freier, nichtfossiler Wärme zur Deckung des Bedarfs an Raumwärme und Warmwasser notwendig. Dies gilt insbesondere in Bezug auf die Errichtung neuer Stadtteile.

Anlass der hier dokumentierten Studie sind die Planungen der Stadt Freiburg zur Errichtung des neuen Stadtteils Dietenbach. Dieser liegt im Freiburger Westen, vier Kilometer von der Innenstadt entfernt, vgl. Abb. 1. Dietenbach weist eine Größe von rd. 107 ha auf und wird im Norden durch die B 31a, im Osten durch die Besançonallee und im Süden durch die Mundenhofer Straße bzw. die Bebauung des Stadtteils Rieselfeld begrenzt und endet im Nordwesten an der Straße Zum Tiergehege, siehe Abb. 2. Den Rahmenplan zeigt Abb. 3 (Stand Bürgerentscheid 2019).



Abb. 1 Luftbild / städtebaulicher Kontext Dietenbach, aus /1/



Abb. 2 Luftbild Plangebiet Dietenbach, aus /1/



Abb. 3 Rahmenplan Dietenbach (Stand Bürgerentscheid 2019, aus /1/)

Als Quelle einer nachhaltigen Wärmeversorgung steht im vorliegenden Fall die „Abwasserabwärme“ zur Verfügung: Entlang der Mundenhofer Straße (der südlichen Begrenzung) verläuft ein großer Abwassersammler des „Abwasserzweckverbands Breisgauer Bucht“ (AZV), der ca. 2/3 der Abwässer der Stadt Freiburg und der Dreisamalgemeinden ableitet. Somit stellt er die Haupt-Abwasserentsorgungsstrasse der Stadt Freiburg dar.

Die Konzeptüberlegungen der Firma EGS-plan und des Siegerteams aus dem städtebaulichen Wettbewerb (K9/Endura kommunal) haben die Abwasserwärmenutzung bereits mit umfasst. Unklarheiten bestanden jedoch noch bezüglich der entziehbaren Wärmeleistung, insbesondere vor dem Hintergrund möglicher Auswirkungen auf die Kläranlage, des zu wählenden Entzugssystems sowie der dabei zu erwartenden Kosten.



Vor diesem Hintergrund beauftragte die Stadt Freiburg (Umweltschutzamt, Abteilung IV – Auftraggeber (AG)) das Ingenieurbüro Klinger und Partner Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH (Klinger und Partner GmbH – Auftragnehmer (AN)) per Vertrag vom 02.11.2020/05.11.2020 mit der Durchführung einer Machbarkeitsstudie zur Abwasserwärmenutzung.

Neben der „klassischen“ Aufgabenstellung einer Machbarkeitsstudie (vgl. Merkblatt zur Abwasserwärmenutzung der DWA, /2/) wurde auch eine Beurteilung des Vertragsentwurfs des „Abwasserzweckverbands Breisgauer Bucht“ sowie die Organisation einer Exkursion zu einer bestehenden Anlage zur Abwasserwärmenutzung beauftragt.

In Absprache mit dem Auftraggeber wurde die Aufgabenstellung in Kooperation mit dem Ingenieurbüro Ryser Ingenieure AG, Bern, bearbeitet.

2 GRUNDLAGEN UND RAHMENBEDINGUNGEN

2.1 Energiekonzept

Bei Bearbeitung dieser Studie wurden die Varianten 4 und 2 aus der Fortschreibung des Energiekonzepts (Zwischenstand zum 17.09.2020) als Vorzugsvarianten genannt: „Dietenbach plus“ bzw. „Klimaneutral und energiewendenedienlich mit grünem H₂“. Die Heizzentrale/das Bauwerk zur Anbindung an das kalte Nahwärmenetz ist in beiden Varianten ganz im Westen, am Parkhaus Mundenhof, in unmittelbarer Nähe zum Abwasserkanal verortet (Auskunft Hr. Nusser, EGS, per Mail vom 20.11.2020), siehe Abb. 4.

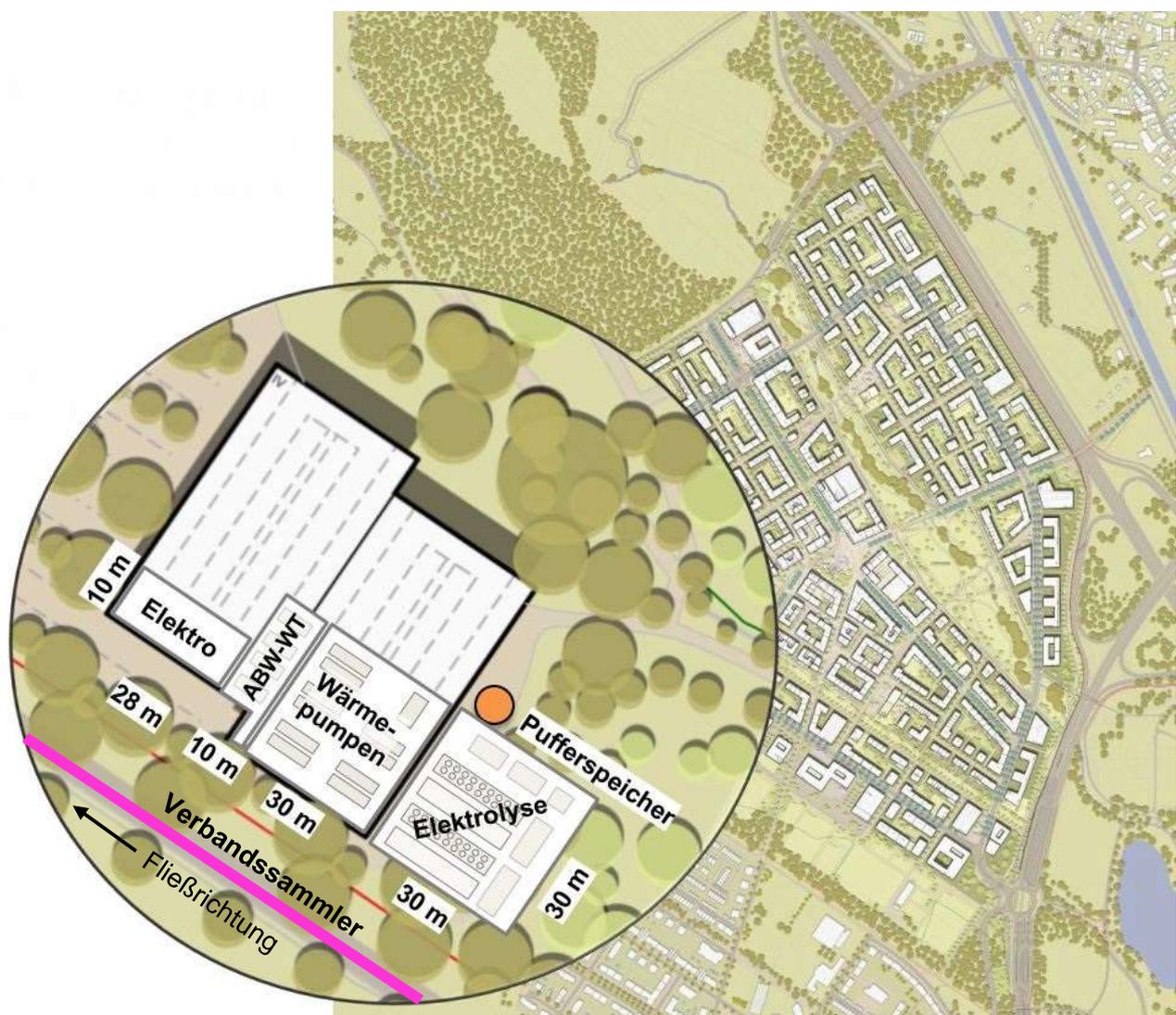


Abb. 4 Flächenlayout Energiezentrale, ergänzt aus: Energiekonzept Dietenbach, Ingenieurbüro EGS, 23.03.2021

Die Energiezentrale ist in beiden Varianten bivalent ausgelegt, Hauptwärmequelle stellt das Grundwasser dar. Aus diesem Grund stellen mögliche Ausfall-/Ausschaltzeiten der Abwasserwärmenut-

zung (s.u.) keine Einschränkung dar. Die Abwasserwärmenutzung wird jedoch als prioritär eingeschätzt, so dass ein möglichst großer Anteil der Wärme über diese Quelle bereitgestellt werden sollte und als Dauerlast zur Verfügung gestellt werden kann.

2.2 Abwasserkanal

2.2.1 Ingenieurbauwerk

Der Sammler des Abwasserweckverbands hat einen Nenndurchmesser von DN 2030. Er wurde im Jahr 1976 gebaut. Nach Angaben des AZV hat er auf Höhe des Parkhauses Mundenhof eine Sohlhöhe von 218,18 müNN bei einer Geländehöhe von 225,91 müNN. Der Kanal hat also eine Sohltiefe von rd. 7,70 m (nach Vermessung aktualisierten Pläne des Verbandssammlers im Bereich des Dietenbachgeländes aus Mail des AZV vom 10.02.2021).

Um den Kanal auch in Zukunft in offener Bauweise reparieren bzw. ersetzen zu können, wurde ein 26 m breiter „Schutzstreifen“ definiert, der von sonstiger Bebauung und anderen Leitungen frei zu halten ist, siehe Abb. 5. Nach Aussage des AG ist dieser Schutzstreifen nicht als Dienstbarkeit im Grundbuch eingetragen.

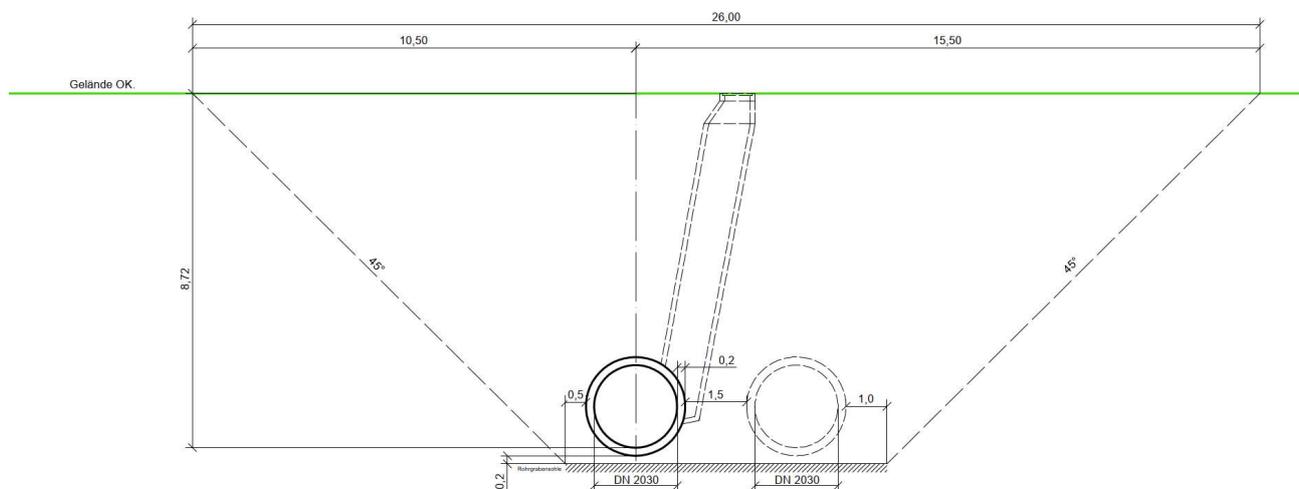


Abb. 5 Ausschnitt aus Plan „Böschung DN 2030 mit Ersatzkanal, Böschungsplan“, Abwasserzweckverband Breisgauer Bucht, 29.01.2021 (Blickrichtung in Fließrichtung)

Am 20.04.2021 fand eine Begehung des Abwasserkanals statt, die freundlicherweise vom Betriebspersonal unterstützt wurde (Freimessung, Stellung Höhensicherungsgerät, etc.). Dem optischen Eindruck nach ist der Kanal in einem sehr guten Zustand, siehe auch Abb. 6. Sämtliche Informationen zum Kanal konnten (qualitativ) bestätigt werden.

Der Einstieg fand zwischen 10:00 Uhr 11:00 Uhr statt, also ungefähr zur Zeit des höchsten Trockenwetterabflusses (siehe folgendes Kapitel). Das Abwasser floss vom Eindruck her schießend, dieser Fließzustand konnte rechnerisch bestätigt werden.



Abb. 6 Foto des Abwassersammlers in der Mundenhofer Straße, ca. Höhe Heizzentrale

2.2.2 Abwasserabfluss

Abb. 7 stellt den durchschnittlichen Tagesgang des Abwasserabflusses bei trockenem Wetter an der Messstelle „Rieselfeld“ dar. Die Durchschnittswerte wurden aus den Daten der Jahre 2016 bis 2020 berechnet, die vom Abwasserzweckverband zur Verfügung gestellt wurden. Aus dieser Grafik geht hervor, dass die mittlere, minimale Durchflussmenge ca. 160 l/s beträgt. Davon ausgehend wurde die **Bemessungswassermenge** für die Auslegung der Abwasserwärmenutzungsanlage auf **150 l/s** festgelegt.

Die durchschnittliche, tägliche Durchflussmenge liegt bei 360 l/s, diese stellt somit die obere Grenze des Bereichs dar, in dem Abwasser zur Wärmeerzeugung sinnvoll genutzt werden kann.

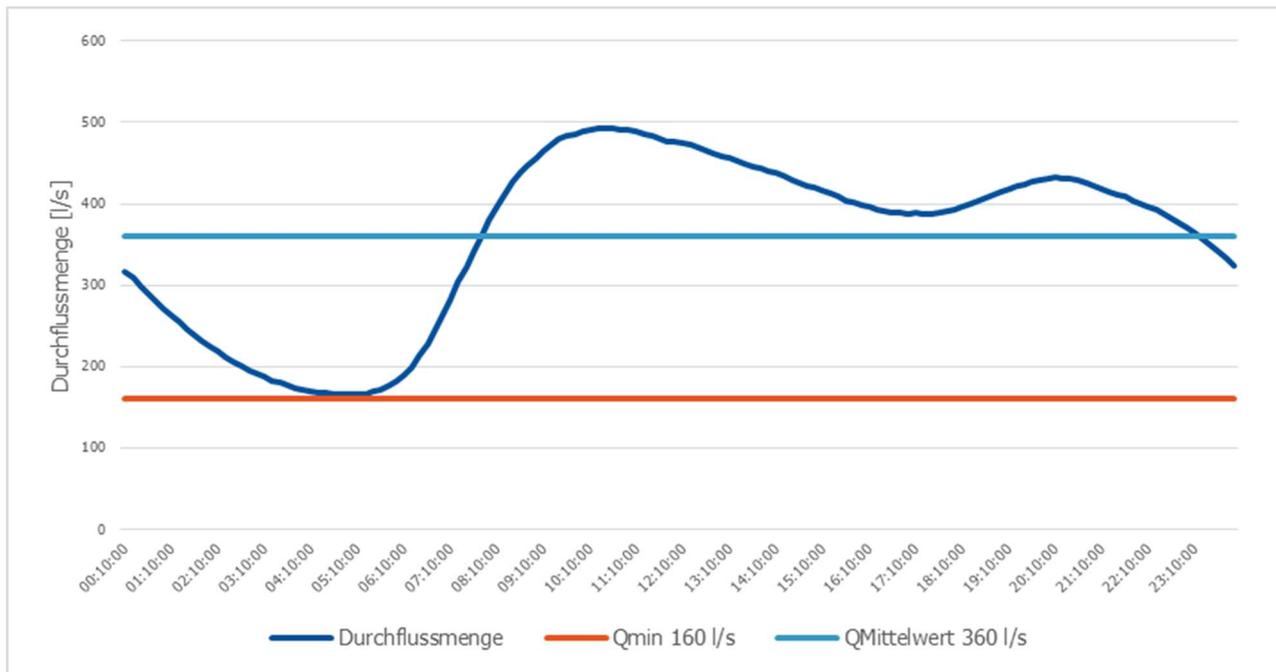


Abb. 7 Tagesgang der Durchflussmenge (Mittelwerte von der Messungen von 2016 bis 2020)

Mit nennenswerten Reduzierungen des Schmutz- und/oder Fremdwasseranfalls in Zukunft ist nach Aussage des Eigenbetriebs Stadtentwässerung nicht zu rechnen (Mail von Hrn. Henkel vom 30.11.2020).

Das Schmutzwasser des Stadtteils Dietenbach, der im Trennsystem entwässert wird, wird unmittelbar oberhalb des Parkhauses in den Sammler des AZV eingeleitet. Das Schmutzwasser der zukünftig ca. 16.000 Einwohner kann also für die Abwasserwärme mit genutzt werden, was aufgrund des kurzen Fließweges und der getrennten Ableitung auch sichergestellt werden sollte. In den Berechnungen dieses Projektes wurde dies jedoch nicht explizit berücksichtigt. Die Berechnungen liegen diesbezüglich also leicht auf der sicheren Seite.

2.2.3 Abwassertemperatur

Mangels örtlicher Messdaten wurde die Bemessungstemperatur für das Abwasser aus den Temperaturmessungen im Abwasser im Zulauf zur Kläranlage abgeleitet. Aufbauend auf der in Abb. 12 gezeigten Auswertung wurde die **Bemessungstemperatur** auf **12,0 °C** festgelegt.

2.3 Grundwasser

Aus GIS-Daten, die dem Auftraggeber vorliegen, geht hervor, dass der Grundwasserflurabstand im Bereich der geplanten Energiezentrale bei ca. 2,00 m liegt.

Das Gebiet befindet sich im Wasserschutzgebiet „Umkirch TB Schoren“ (Daten- und Kartendienst der LUBW, aufgerufen am 10.04.2021). Gemäß Abstimmung mit dem Umweltschutzamt stellt die Nutzung von Glykol im Zwischenkreislauf jedoch kein Problem dar, solange dieser in doppelwandigen Rohren geleitet wird (Telefonat am 23.11.2020 mit Hrn. Weber, Fachbereichsleiter Abteilung III/Wasserwirtschaft und Bodenschutz, Umweltschutzamt Stadt Freiburg).

2.4 Vorauswahl des Entzugssystems

Nachdem erste Voruntersuchungen im Rahmen der vorliegenden Studie abgeschlossen waren, fand am 15.12.2020 eine Besprechung unter Teilnahme von Vertretern des AG, des Abwasserzweckverbands und des AN statt.

Der AZV machte dabei aus betrieblichen und Haftungsgründen die Vorgabe, dass der Entzug der Wärme nicht mit Einbauten in den Kanälen einhergehen dürfe. Zudem wies er darauf hin, dass er über die Sanierungserfordernis des bestehenden, rd. 45 Jahre alten Kanals keine Aussagen treffen könne und dass bei einer ggf. anstehenden Sanierung ein Rinnenwärmetauscher temporär vollständig ausgebaut werden müsse. Alternativ müsse eine anstehende Sanierung des Kanals evtl. vorgezogen und über die Abwasserwärmenutzung mit finanziert werden.

Vor diesem Hintergrund wurde beschlossen, Entzugssysteme, die die Wärme innerhalb des Kanals entziehen (z.B. Rinnenwärmetauscher) nicht weiter zu betrachten. **Zur Ausarbeitung im Zuge der Machbarkeitsstudie wurden deswegen zwei Bypass-Systeme ausgewählt.**

2.5 Auswirkungen auf die Kläranlage

2.5.1 Bedeutung der Auswirkungen auf die Kläranlage

Da die Nutzung der Abwasserwärme, wie erwähnt (vgl. Kap. 2.1), als prioritär eingestuft wurde, liegt die Frage nach der maximalen Entzugsleistung auf der Hand. Diese ergibt sich im vorliegenden Fall nicht aus dem Energiedargebot vor Ort, also aus Abwasserabfluss und –temperatur im Kanal in der Mundenhofer Straße, sondern aus den Auswirkungen auf die Kläranlage.

Die Abwassertemperatur bestimmt im Winter maßgeblich die Geschwindigkeit der biologischen Prozesse, die im Belebungsbecken der Kläranlage die Reinigungsleistung darstellen. Eine Betrachtung der Auswirkungen eines Wärmeentzugs auf die Kläranlage ist also im ökologischen Sinne durchaus sinnvoll und angebracht. Denn zumindest theoretisch/numerisch führt jeder Wärmeentzug im Kanal auch zu einer Abkühlung der Zulufttemperatur des Abwassers auf der Kläranlage. Nicht in jedem Fall ist diese jedoch auch messtechnisch feststellbar.

Um mit dem Abwasserzweckverband zu einer Einigung über die maximale Entzugsleistung zu gelangen, wurden die im Folgenden dargestellten Untersuchungen angestellt.

Ohne Einschränkungen zugestanden wurde vom AZV eine Entzugsleistung von bis zu 600 kW für das Gebiet Dietenbach. Diese Angabe resultiert aus der Überlegung, dass eine Entzugsleistung von insgesamt 1.000 kW im Gesamteinzugsgebiet von der Kläranlage gut verkraftet werden kann und dass für eine erste Anlage bereits die Zusage über eine Entzugsleistung von 400 kW gemacht wurde.

2.5.2 Abschätzung der Wiedererwärmung des Abwassers zwischen dem Ort des Wärmeentzugs und der Kläranlage

Die Kläranlage des Abwasserzweckverbands Breisgauer Bucht befindet sich auf der Gemarkung der Gemeinde Forchheim (Landkreis Emmendingen, nördlich von Freiburg). Die Fließstrecke von Dietenbach bis zum Klärwerk beträgt ca. 25 km.

Aufbauend auf den Ergebnissen der „Potenzialstudie zur Abwasserwärmenutzung“ für das Einzugsgebiet der Kläranlage Breisgauer Bucht, die im Jahre 2011 in unserem Haus erstellt wurde (3/), wurde die in folgender Abbildung (Abb. 8) dargestellte Übersicht über die Abflussverhältnisse aufgestellt.

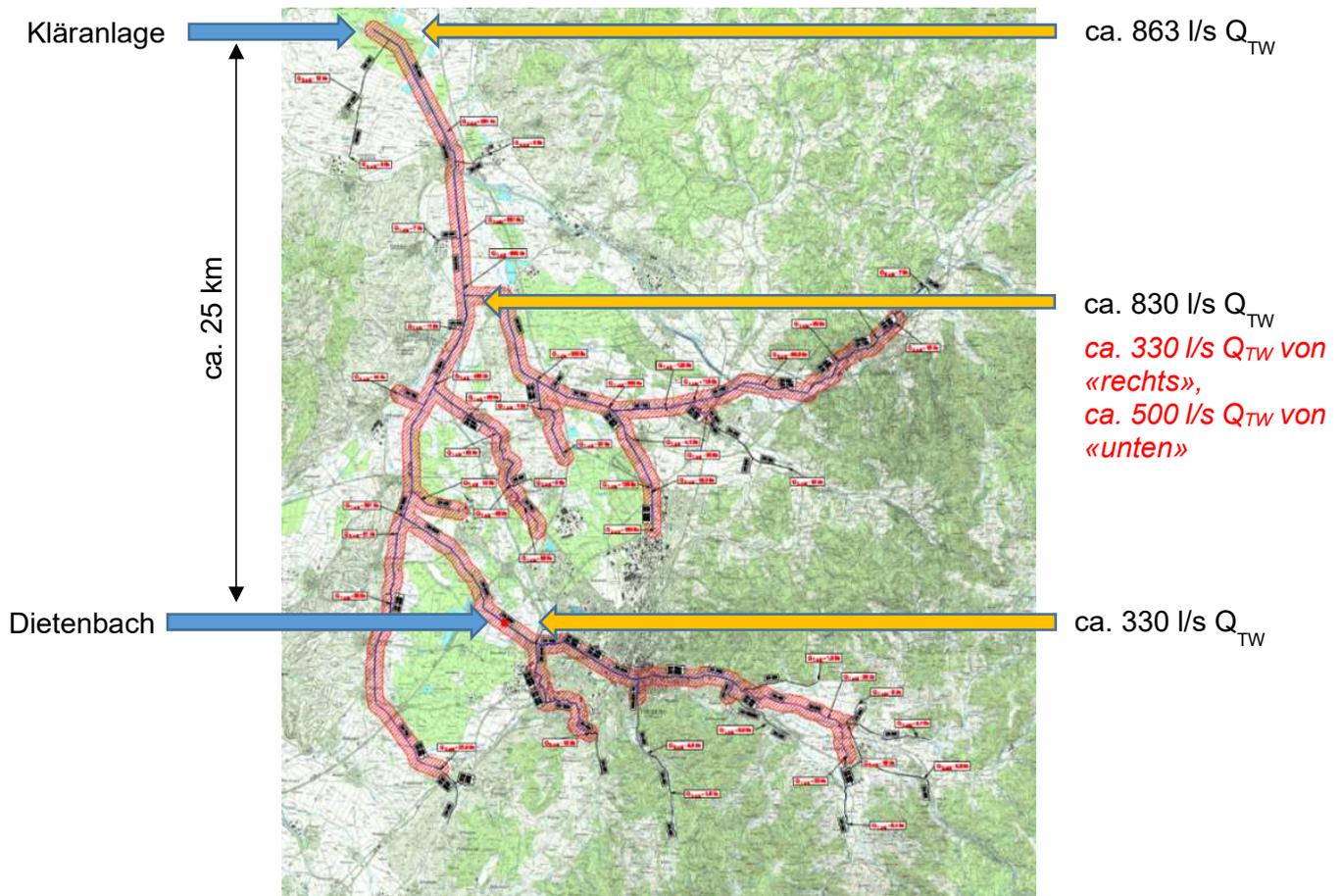


Abb. 8 Übersicht über die Abflussverhältnisse in den Verbandssammlern des AZV (erweitert nach 3/)

Der Wärmehaushalt des Abwassers, und damit auch die Wiedererwärmung nach einem Wärmeentzug, wird maßgeblich durch zwei Faktoren beeinflusst:

1. Die Abwasserzuflüsse
2. Die Wärme aus dem umgebenden Boden

Die Abwasserzuflüsse können über eine einfache Mischungsrechnung berücksichtigt werden. Der Wärmeübergang aus dem umgebenden Boden ist proportional zur Temperaturdifferenz zwischen Boden und Abwasser. Er ist also umso größer, je wärmer der umgebende Boden und je kälter das Abwasser ist.

Beide Faktoren sind hier positiv zu bewerten:

1. Durch die extrem tiefe Lage der Kanäle ist der umgebende Boden auch im Winter noch sehr warm. Dies zeigt sich auch an den insgesamt sehr hohen Abwassertemperaturen im Zulauf zur Kläranlage (s.u.).



2. Das in Dietenbach abgekühlte Abwasser dominiert über eine lange Strecke die Abflüsse im Verbandssammler: Die Distanz bis zum nächsten, größeren Abwasserzufluss von ca. 40% des Gesamtabflusses beträgt ca. 15km (siehe Abb. 8).

Negativ ist lediglich zu bewerten, dass sich der Sammler im Grundwasser befindet (Wärmeabstrom durch fließendes Grundwasser),

Vor dem Hintergrund dieser Faktoren und den Untersuchungen von Wanner et al. an der EAWAG (/4/) wird von einer Wiedererwärmung des abgekühlten Abwassers von ca. 0,2°C pro km Fließstrecke auf einer Länge von maximal 8 km ausgegangen.

Bei einer Entzugsleistung von 2 MW würde sich unmittelbar unterhalb des Wärmeentzugs eine Abwasserabkühlung von 1,45 K ergeben ($Q = 330 \text{ l/s}$, spez. Wärmekapazität $4,19 \text{ kJ/(kg} \times \text{K)}$, Dichte 1 kg/l). Diese Abkühlung wäre nach 8 km bei der genannten Wiedererwärmung kompensiert, noch ohne Ansatz der Vermischung von anderen Abwasserströmen.

Die im DWA-Regelwerk (/2/) genannte „Bagatellgrenze“ von 0,5 K würde somit nicht berührt.

2.5.3 Vergleichende Betrachtung der Abwassertemperaturen auf der Kläranlage im Bestand

In der Potenzialstudie zur Abwasserwärmenutzung (/3/) wurde eine Datenaufbereitung der Abwassertemperaturen im Belebungsbecken der Kläranlage Breisgauer Bucht vorgenommen und diese im Vergleich zu den Temperaturen von anderen Kläranlagen in Baden-Württemberg aufgetragen. Die Grafik ist in Abb. 9 wiedergegeben. Die Grafik zeigt, dass das Abwasser auf der Kläranlage des AZV im Winter das wärmste Abwasser aller untersuchten Kläranlagen ist.

Zusätzlich ist noch ein allgemeiner Trend zu beobachten: Aus verschiedenen Gründen, wie die Zunahme an trennentwässerten Gebieten und der Klimaerwärmung, nimmt die Temperatur des Abwassers in den letzten Jahren zu. Schweizer Untersuchungen zufolge kann von einer Erwärmung von 0.5 bis 0.7°C pro 10 Jahre ausgegangen werden. Dies kann auch in den Daten der Kläranlage Breisgauer Bucht festgestellt werden, wie eine neuerliche Datenauswertung zeigte (siehe Abb. 10).

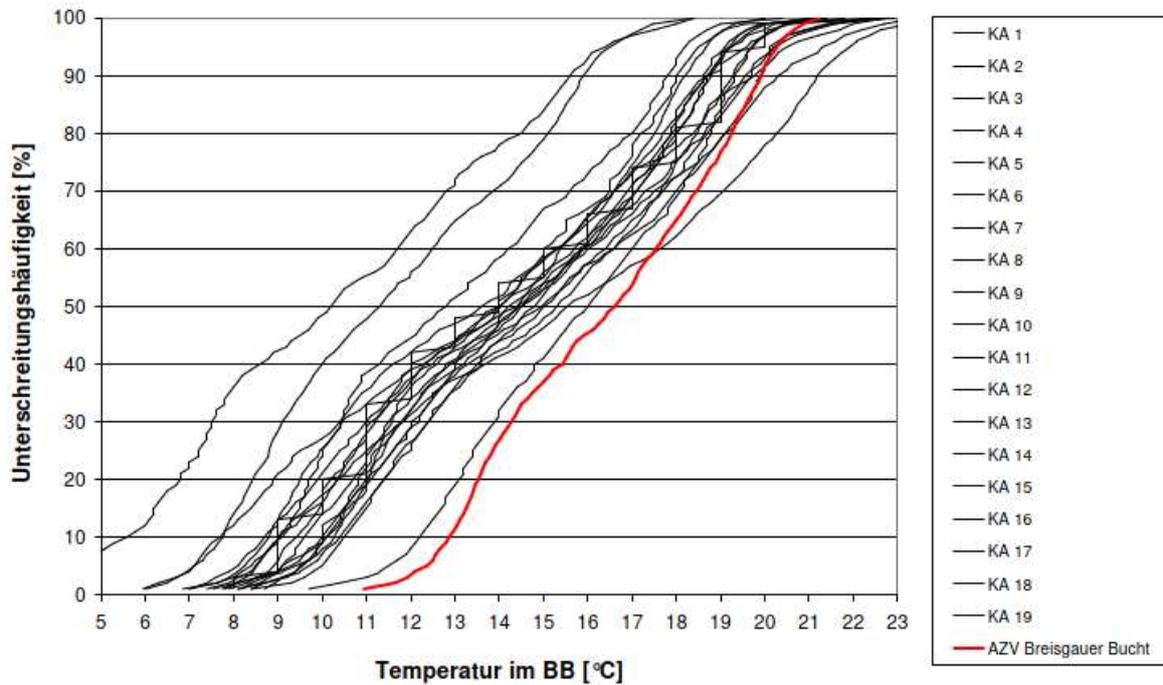


Abb. 9 Unterschreitungshäufigkeiten der Abwassertemperaturen im Belebungsbecken der Kläranlage im Vergleich mit anderen Kläranlagen aus Baden-Württemberg (aus /3/)

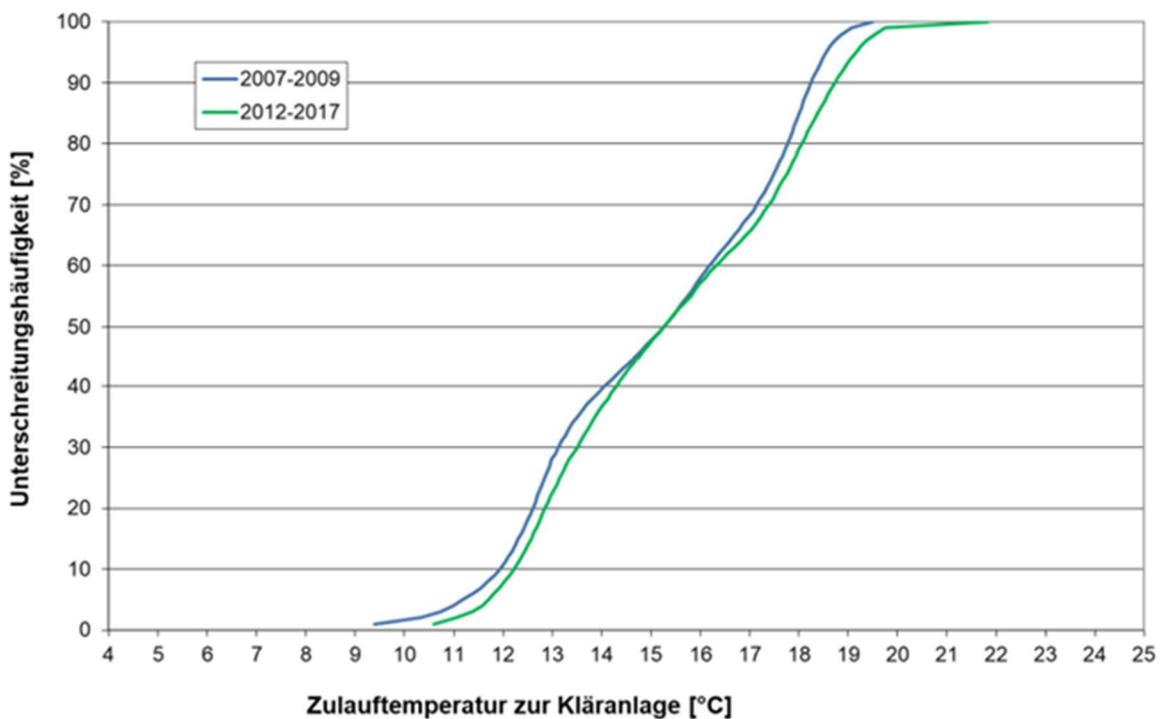


Abb. 10 Vergleich der Abwassertemperaturen im Zulauf zur Kläranlage im Mittel unterschiedlicher Zeiträume

2.5.4 Unterschreitung einer Abwassertemperatur von 12 °C im Belebungsbecken

Wie bereits erwähnt geschieht die Begrenzung der Entzugsleistung vor allem vor dem Hintergrund der Sicherstellung einer „unkritischen“ Abwassertemperatur im Belebungsbecken der Kläranlage. Als kritische Grenze wird vom AZV dabei eine Abwassertemperatur von 12 °C gesehen.

Als Kompensation der Zulassung einer höheren Entzugsleistung (von z.B. 2 oder 3 MW) wurde vom AZV deswegen in der bereits erwähnten Besprechung vom 15.12.2020 das Recht zur Drosselung/Abschaltung der Abwasserwärmenutzungsanlage bei Unterschreitung einer Abwassertemperatur von 12 °C im Belebungsbecken angeboten.

Aus Abb. 9 lässt sich ablesen, dass dies zur damaligen Zeit in 4 bis 5 % der Zeit der Fall war. In einer neuen Untersuchung wurden die Zeiten, in denen das Abwasser im Belebungsbecken kälter als 12 °C ist, näher untersucht. Es zeigt sich, dass diese Unterschreitung im Mittel ungefähr 12 Mal auftritt, wobei die Hälfte dieser Unterschreitungen kürzer als 12 h andauert. Die andere Hälfte dauert in der Regel zwischen 1 und 3 Tagen. Das Ergebnis ist in Abb. 11 grafisch dargestellt.

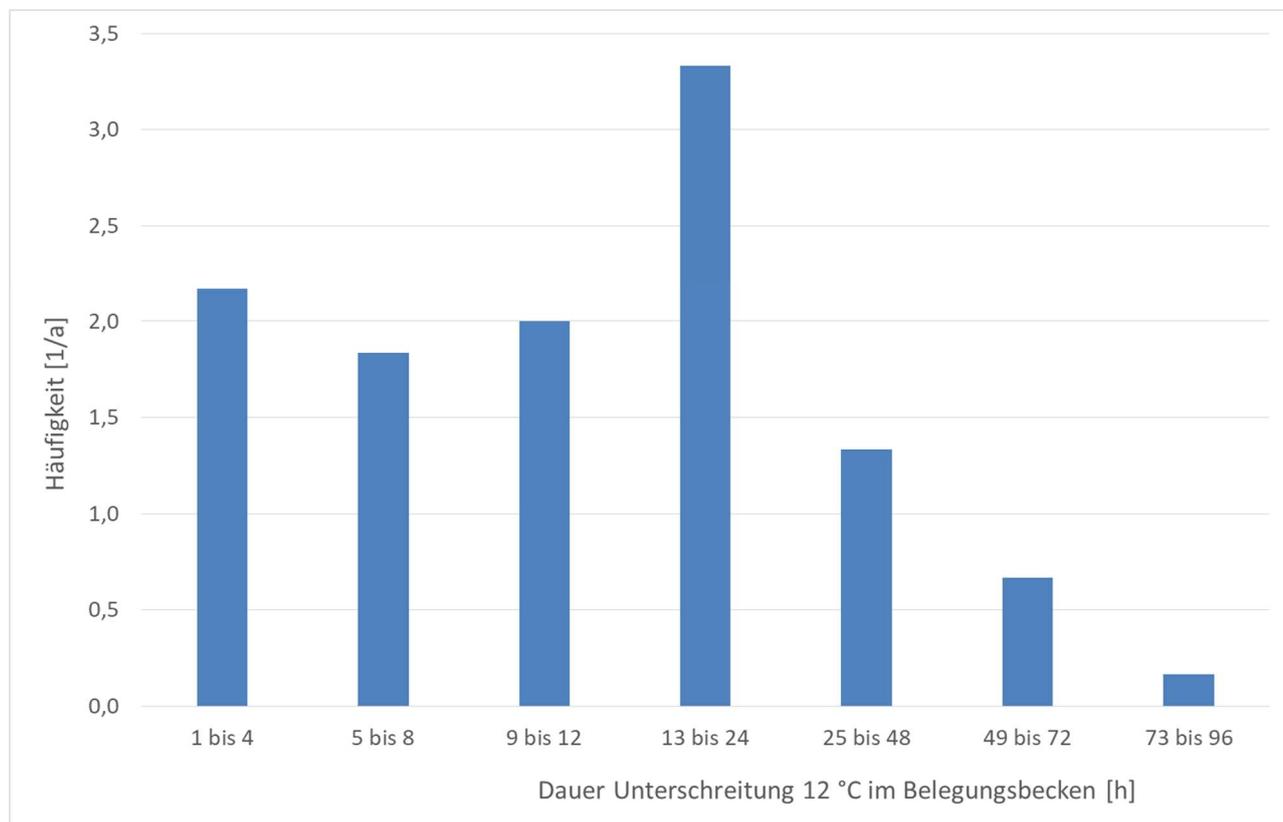


Abb. 11 Statistische Häufigkeit, mit der eine Unterschreitung der Abwassertemperatur von 12 °C auftritt (je klassifizierter Dauer der Unterschreitung, Daten von 2012 bis 2017)

In Bezug auf das Energiekonzept ist jedoch wichtig, festzustellen, dass diese Unterschreitungen nicht stochastisch auftreten oder immer dann, wenn die Außentemperaturen im Bereich der Bemessungstemperaturen für die Auslegung des Heizungssystems liegen. Die Abwassertemperatur sinkt üblicherweise dann ab, wenn es auf kalte Oberflächen regnet oder bei Schneeschmelze. Diese Phänomene treten aber logischerweise bei Außentemperaturen über 0 °C auf. Eine entsprechende Analyse der Daten des AZV zeigt, dass dieser Bereich konkret auf Außentemperaturen zwischen 1 °C und 8 °C einzugrenzen ist (Abb. 12).

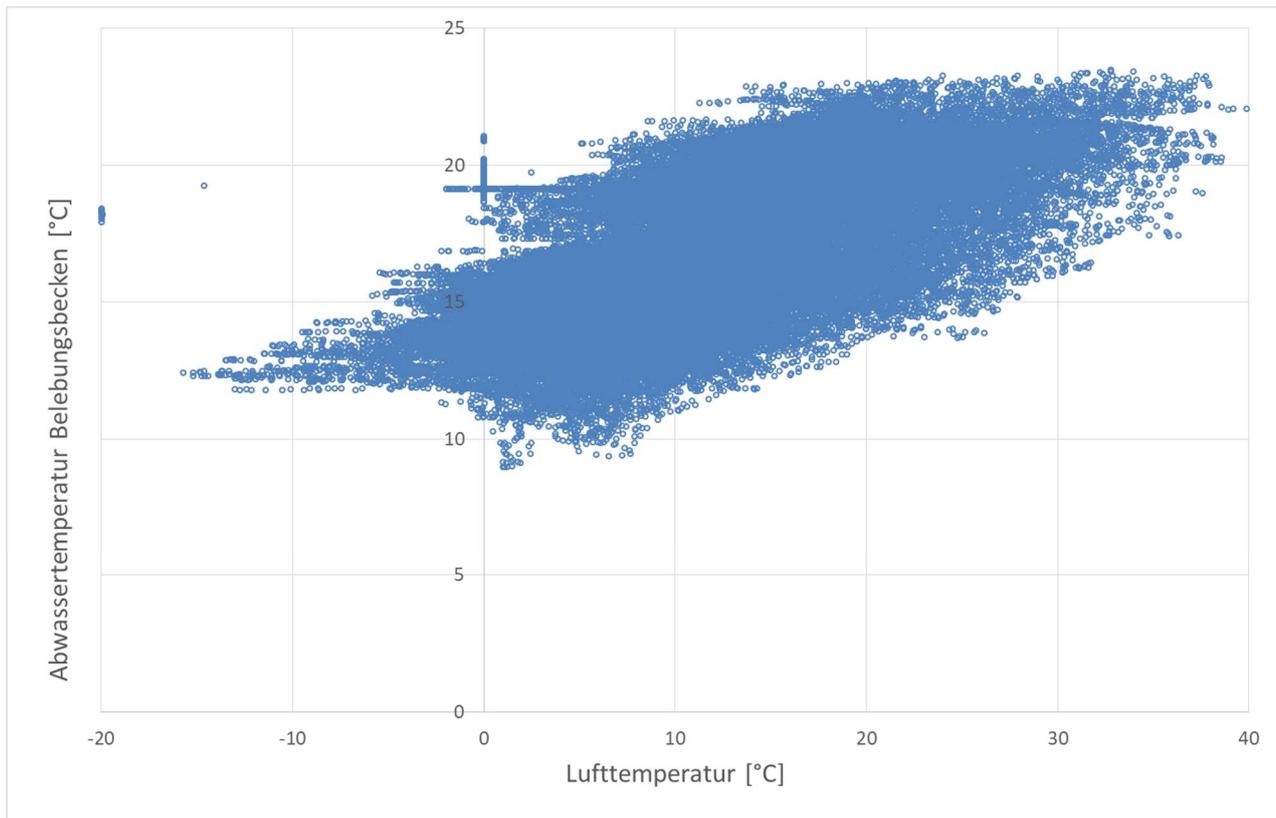


Abb. 12 Abwassertemperaturen im Belebungsbecken aufgetragen über der Lufttemperatur auf der Kläranlage (Daten von 03/2011 bis 08/2018)

Aufgrund der bivalenten Auslegung der Heizzentrale sowie vor dem Hintergrund dieser Erkenntnis wurde beschlossen, **die Entzugsleistung für die Vorbemessung im Zuge der Machbarkeitsstudie nach technisch-wirtschaftlichen Kriterien zu wählen** und ohne eine Begrenzung in Hinsicht auf die Kläranlage.

3 VARIANTE 1: DOPPELROHR-WÄRMETAUSCHER

3.1 Darstellung des Entzugssystems

Das System zum Wärmeentzug mittels Doppelrohr-Wärmetauschern ist in Abb. 13 und Abb. 14 dargestellt. Es besteht aus einem Mediumsrohr (Abwasser-Druckrohr), drei kleineren Rohren für den Zwischenkreislauf und einem äußeren PE-Rohr als Ummantelung. Das Abwasser, das aus dem Abwasserkanal entnommen wird, wird in das Abwasser-Druckrohr gepumpt. Um dieses Druckrohr herum ist ein zweites Rohr, das „Doppelrohr“ angeordnet. Im Spalt zwischen Druckrohr und Doppelrohr wird der Zwischenkreislauf geführt, der dem Abwasser über die Wand des Druckrohrs die Wärme entzieht. Der Zwischenkreislauf wird zur Wärmepumpe geführt, wo diese Wärme dann wiederum die Wärmequellenseite der Wärmepumpe darstellt.

Zur Reduzierung von hydraulischen Verlusten sind die einzelnen Wärmetauscher-Abschnitte im Tichelmann-System verschaltet. Dieses garantiert eine gleichmäßige Durchströmung des Zwischenkreislaufs durch die Abschnitte ohne aktive Steuerungseingriffe, erfordert aber eine dritte Transportleitung, die „Tichelmann-Leitung“. Dieses System ist in Abb. 15 dargestellt. Die Ausleitung des Zwischenkreislaufs erfolgt mittig, ebenfalls zur Reduzierung hydraulischer Verluste. Die Anlage besteht somit vom Prinzip her aus zwei hintereinandergeschalteten, gleich großen Teilen.

Zur Vereinfachung wird diese Variante im Folgenden mit „Druckrohrwärmetauscher“ bezeichnet.

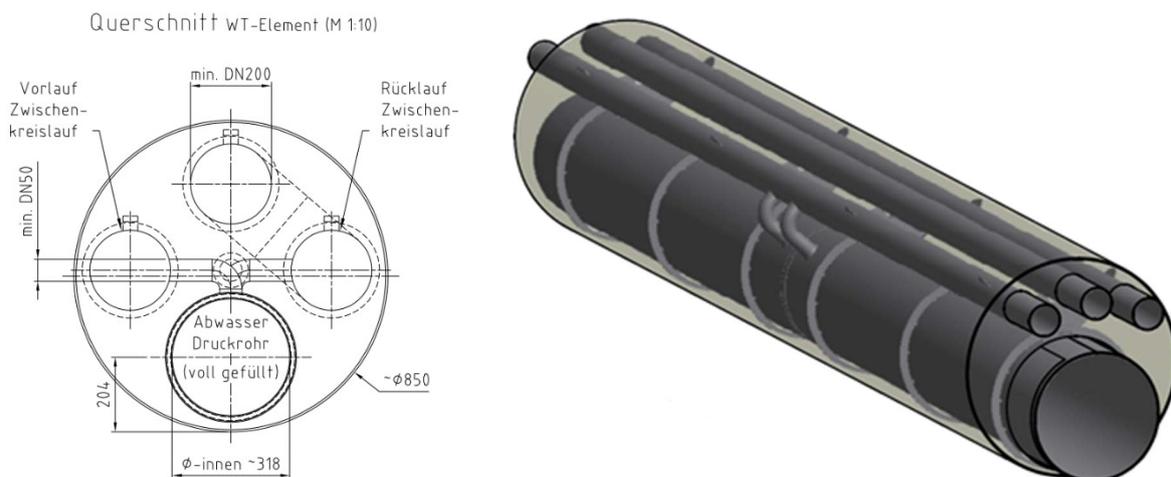


Abb. 13 Querschnitt und technische Zeichnung eines Doppelrohr-Wärmetauschers (Quelle: KA-SAG AG)



Abb. 14 Foto einer Baustelle zum Einbau von Doppelrohrwärmetauschern

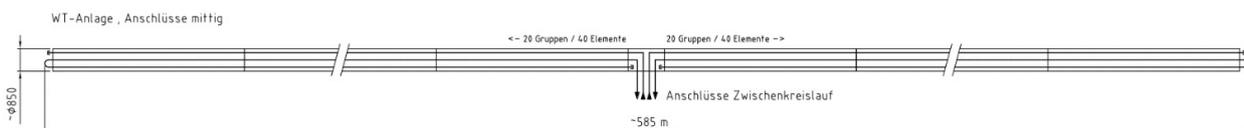


Abb. 15 Schema der Wärmetauscheranlage mit Doppelrohrwärmetauscher mit Darstellung des Tichelmann-Prinzips bei mittigem Anschluss

3.2 Bemessung

Die Bemessung erfolgte in Zusammenarbeit mit einem Hersteller, der über entsprechendes Know-How und spezialisierte Auslegungsprogramme verfügt. Die Entzugsleistung von 2 MW ist das Ergebnis einer Optimierung der Druckverluste in der Abwasserleitung und im Zwischenkreislauf, der Spreizung und der Grädigkeit mit dem Ziel, eine insgesamt hohe Wärmemenge zu entziehen.

Das vorgeschlagene System mit einer gewählten Durchflussmenge von 150 l/s ist über die Wärmetauscherlänge von 585 m auf eine Entnahmeleistung von 2,0 MW ausgelegt. Die Tab. 1 fasst die für das Doppelrohr-Wärmetauscher System spezifischen Daten zusammen.

Aufgrund der geringen Vorlauftemperaturen im Zwischenkreislauf ($T_V = 2\text{ °C} < 4\text{ °C}$) muss im Zwischenkreislauf zum Schutz der Wärmepumpe mit einem Wasser-Glykol-Gemisch gefahren werden. Im vorliegenden Fall ist der Mindestanteil von 20 Vol.-% Glykol ausreichend.

Tab. 1 Daten Doppelrohr-Wärmetauscher System

Element	Parameter	Wert
Abwasserkanal	Durchmesser (DN)	2030 mm
	Abflussmenge Nachtminimum (Q_{\min})	160 l/s
	Mittl. Abflussmenge Trockenwetter (Q_{TW})	360 l/s
	Bemessungstemperatur (T_{Bem})	12,0 °C
Druckrohr	Ausleitmenge Abwasser (Q_{Abw})	150 l/s
	Länge Druckrohr (Wärmetauscher) (L_{WT})	585 m
	Abwassertemperatur Austritt (T_{ab})	8,8 °C
Zwischenkreislauf	Temperatur Vorlauf (T_v)	2,0 °C
	Temperatur Rücklauf (T_R)	6,3 °C
	Durchflussmenge (Q_{zk})	133 l/s
Elemente Wärmetauscher	Anzahl (Z_{WT})	40
	Fläche (S_{WT})	577 m ²
	Wärmedurchgangskoeffizient (k)	583 W/m ² K

3.3 Skizzenhafte Darstellung des vorgeschlagenen Systems

In Abb. 16 ist die derzeit angedachte Anordnung des Druckrohr-Wärmetauschers dargestellt. Das Entnahmebauwerk wird ca. 300 m unterhalb (westlich) der Heizzentrale platziert, so dass der Druckrohrwärmetauscher in „U-Form“ und so verlegt werden kann, dass die mittige Entnahme unmittelbar neben der Heizzentrale stattfindet. Die Führung des Zwischenkreislaufs zur Heizzentrale erfolgt dann außerhalb des Gebäudes in doppelwandigen Röhren, da der Zwischenkreislauf mit einem Wasser-Glykol-Gemisch befüllt ist, siehe vorheriges Kapitel.

Die genaue Lage des Entnahmebauwerks (links (südlich) oder rechts (nördlich) des Abwasserkanals muss anhand der Gegebenheiten vor Ort und der Vorgaben zur Flächennutzung (Naturschutzgebiet, Schutzstreifen Kanal, etc.) entschieden werden, auf die Kostendarstellung hat diese Entscheidung keine Auswirkung (solange das Entnahmebauwerk sich unmittelbar neben dem Kanal befindet).

Die Errichtung des Entnahmebauwerks ist aufgrund der großen Tiefe des Kanals und des gleichzeitig geringen Grundwasserflurabstands sehr aufwändig. Wir gehen davon aus, dass hier mit einer Bohrpfehlwand gearbeitet wird. Vom Entnahmebauwerk aus wird dann der Kanal von schräg unten angebohrt, um die eigentlichen Ausleitrohre zu setzen. Aus Redundanzgründen werden zwei Ausleitrohre gesetzt. Am Boden des Entnahmebauwerks sind (aus Redundanzgründen) zwei Tauchpumpen angeordnet, die das Abwasser dann hoch zum Druckrohrwärmetauscher pumpen. Eine Skizze des Ausleitbauwerks ist in Abb. 17 dargestellt.

Systemgrenze der in dieser Variante durchgeführten Betrachtungen ist die Einführung in die Hauswand der Heizzentrale.



Abb. 16 Anordnung des Druckrohr-Wärmetauschers (Kartenausschnitt nicht genordet, Quelle Luftbild: FreiGIS, Stadt Freiburg)

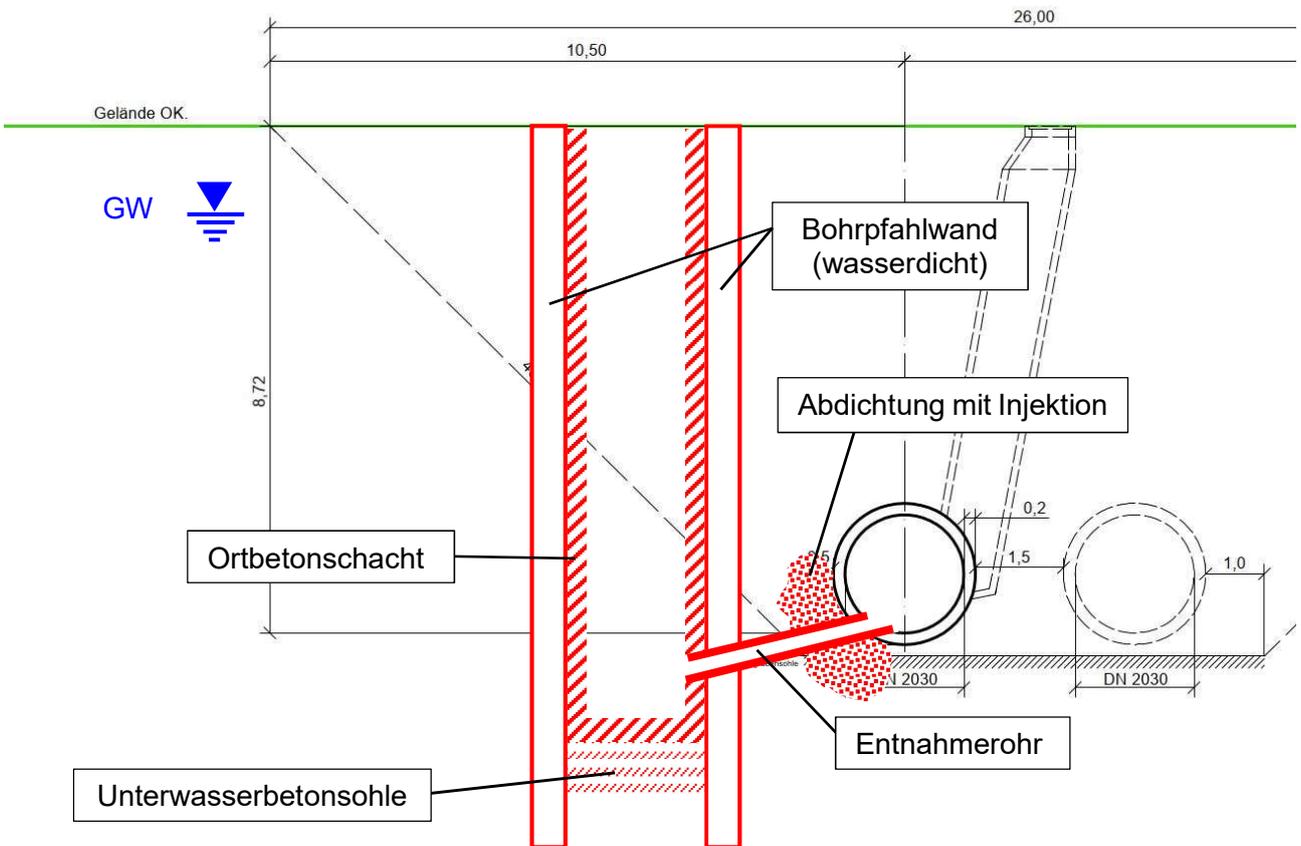


Abb. 17 Skizze Ausleitbauwerk (Hintergrund: Plan „Böschung DN 2030 mit Ersatzkanal, Böschungsplan“, Abwasserzweckverband Breisgauer Bucht, 29.01.2021)

3.4 Kostenermittlung

3.4.1 Investitions- und Betriebskosten

Bei der Ermittlung der Investitionskosten wurde von folgenden Rahmenbedingungen ausgegangen:

- Die Mundenhofer Straße kann mindestens halbseitig gesperrt werden (je nach genauer Kanallage und Anordnung des Entnahmebauwerks auch Vollsperrung erforderlich)
- Es steht kein Fels an.
- Der zu entsorgende Erdaushubs ist zu weniger als 10 % höher belastet (> Z2)

Grunderwerb und eventuelle Kosten für die Erlangung von Leitungsrechten wurden nicht berücksichtigt.

Die Investitionskosten wurden auf Basis aktuell vorliegender Ausschreibungsergebnisse bzw. gestützt auf Richtpreisangeboten ermittelt. Zur Berechnung der daraus resultierenden jährlichen Kapitalkosten wurde die spezifische Nutzungs-/Abschreibungsdauer (zwischen 15 und 50 Jahren) und der kalkulatorische Zinssatz von 2,0 % angesetzt. Die jährlichen Wartungs- und Instandhaltungskosten wurden als spezifische Anteile an den Investitionskosten ermittelt (zwischen 0,0 und 1,5 %). Die Nebenkosten wurden mit 20 % der Investitionskosten veranschlagt. Die Tabelle mit der Ermittlung der Investitions-, jährlichen Kapital- und Wartungskosten ergibt sich damit wie folgt (Tab. 2).

HINWEIS 1: Mit Kosten/Kapitalkosten sind an dieser Stelle nicht die Kosten bzw. Aufwendungen im Sinne des städtischen Haushalts gemeint, sondern die Summe aus Zins- und Tilgungszahlungen (Annuität).

HINWEIS 2: Bei den hier dargestellten Kosten wird davon ausgegangen, dass das Entnahmebauwerk unmittelbar neben dem Kanal gebaut werden kann (Abstand ca. 1,50 m). Wird das Bauwerk in der Lage vom Kanal abgerückt, so können durch die Notwendigkeit der Anwendung eines anderen Bauverfahrens überproportional Mehrkosten entstehen.

Tab. 2 Investitions-, jährliche Kapital- und Wartungskosten Variante 1 (Druckrohrwärmetauscher)

Kapitalkosten (brutto)	Investitionskosten €	Kapitalkosten Zins: 2,0%			Wart./Instands.	
		Nutzung Jahre	Annuität %/a	Kosten €/a	Kosten %/a	Kosten €/a
Entnahmebauwerk (inkl. Erdarbeiten)	1.040.000,--	50	3,18%	33.096,--	0,2%	2.080,--
2 Abwasserpumpen inkl. Verrohrung	160.000,--	15	7,78%	12.452,--	1,5%	2.400,--
Messausrüstung, Steuerung	100.000,--	15	7,78%	7.783,--	1,0%	1.000,--
Druckrohr-Wärmetauscher	1.250.000,--	50	3,18%	39.779,--	0,1%	625,--
Glykol für Zwischenkreislauf	150.000,--	25	5,12%	7.683,--	0,5%	750,--
Erdarbeiten für Wärmetauscher & Leitungen	570.000,--	50	3,18%	18.139,--	0,0%	,--
Leitungen im Erdreich	320.000,--	50	3,18%	10.183,--	0,2%	640,--
Nebenkosten	710.000,--	25	5,12%	36.367,--		,--
Brutto-Summe	4.300.000,--			165.482,--		7.495,--
				rd. 165.000,--	rd.	7.000,--



3.4.2 Stromkosten

Basis der Ermittlung der Stromkosten ist die technische Ermittlung der Druckhöhen an den Pumpen. Diese wurde selbst ermittelt bzw. bei den Herstellern der Wärmetauscher angefragt (Druckverluste). Darüber hinaus wurde von folgenden Parametern ausgegangen:

- Motorwirkungsgrad: 0,85, Pumpenwirkungsgrad: 0,55
- Volllaststunden: 4.500 h/a
(Annahme vorrangiger Elektrolyse-Abwärmenutzung und weiterer Rahmenbedingungen ($T_{\text{Abwasser}} > 12 \text{ °C}$), in Absprache mit dem Ingenieurbüro EGS)
- Strompreis netto 18,0 ct/kWh (brutto: 21,4 ct/kWh)
(mittleres Szenario „ohne Änderung“, in Absprache mit dem Ingenieurbüro EGS)

Damit ergeben sich die folgenden Stromkosten (Tab. 3):

Tab. 3 Stromkosten Variante 1 (Druckrohrwärmetauscher)

Abwasserförderpumpe	212.447 kWh/a x	21,42 ct/kWh =	45.506,-- €/a
Umwälzpumpe (Zw.-kreislauf)	211.403 kWh/a x	21,42 ct/kWh =	45.283,-- €/a
Brutto-Stromkosten gesamt			90.789,-- €/a
		rund	91.000,-- €/a

3.4.3 Jahreskosten

Die Jahreskosten, die sich daraus ergeben, sind in Tab. 4 zusammengestellt.

Tab. 4 Jahreskosten Variante 1 (Druckrohrwärmetauscher)

	Jahreskosten (Brutto) €/a
Kapitalkosten	165.000,--
Betriebskosten	7.000,--
Stromkosten	91.000,--
Jahreskosten	263.000,--

Aufgrund der gesetzten Systemgrenze umfassen diese Jahreskosten weder die Kosten für die Verrohrung des Zwischenkreislaufs innerhalb der Heizzentrale, noch die zugehörige Umwälzpumpe oder gar die Wärmepumpen. Der Stromverbrauch für den Betrieb der Umwälzpumpe des Zwischenkreislaufs, der aus den Druckverlusten außerhalb der Heizzentrale entsteht, ist allerdings berücksichtigt.

4 VARIANTE 2: ROHRBÜNDELWÄRMETAUSCHER IM BYPASS

4.1 Darstellung des Entzugssystems

In der Variante 2 wird das Abwasser ebenfalls aus dem Sammler entnommen, im Entnahmebauwerk vorgesiebt und zur Heizzentrale gepumpt. Dort wird es über „Durchlaufbecken“/„Wannen“ geleitet und von dort zurück zum Kanal geführt (Abb. 18). In den „Durchlaufbecken“ sind Rohrbündelwärmetauscher angeordnet, die wiederum vom Zwischenkreislauf durchströmt werden, der dem Abwasser die Wärme entzieht (Abb. 19). Das Siebgut wird nach oben transportiert und dem Abwassersammler zusammen mit dem abgekühlten Abwasser zurückgegeben.

Zur Reduzierung von hydraulischen Verlusten werden vier „Durchlaufbecken“/Rohrbündelwärmetauscher parallel beschickt. Zur Vereinfachung wird diese Variante im Folgenden mit „Bypass“ bezeichnet.

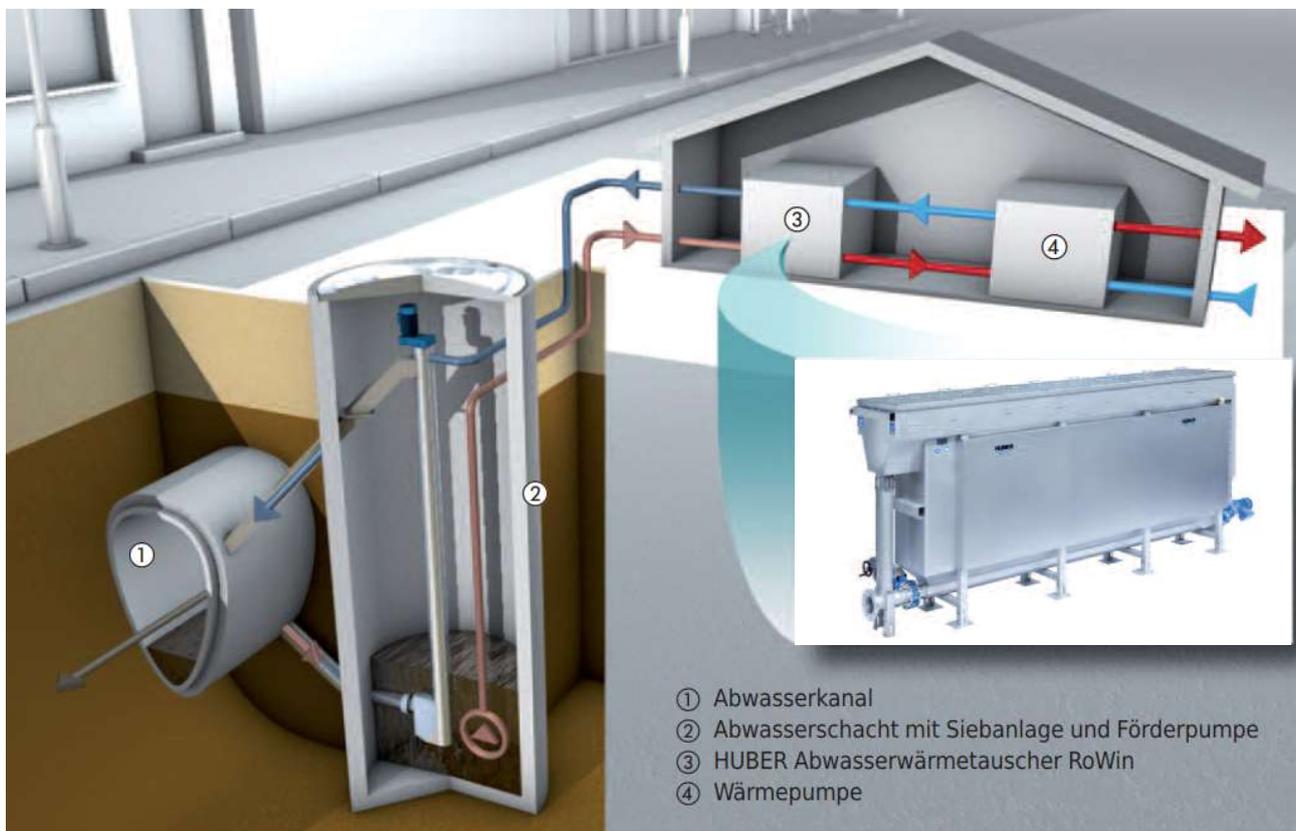


Abb. 18 Darstellung des Entzugssystems der Variante 2 (Bypass) mit Entnahme, Vorsiebung und Bypass-Wärmetauscher (Quelle: Huber AG)

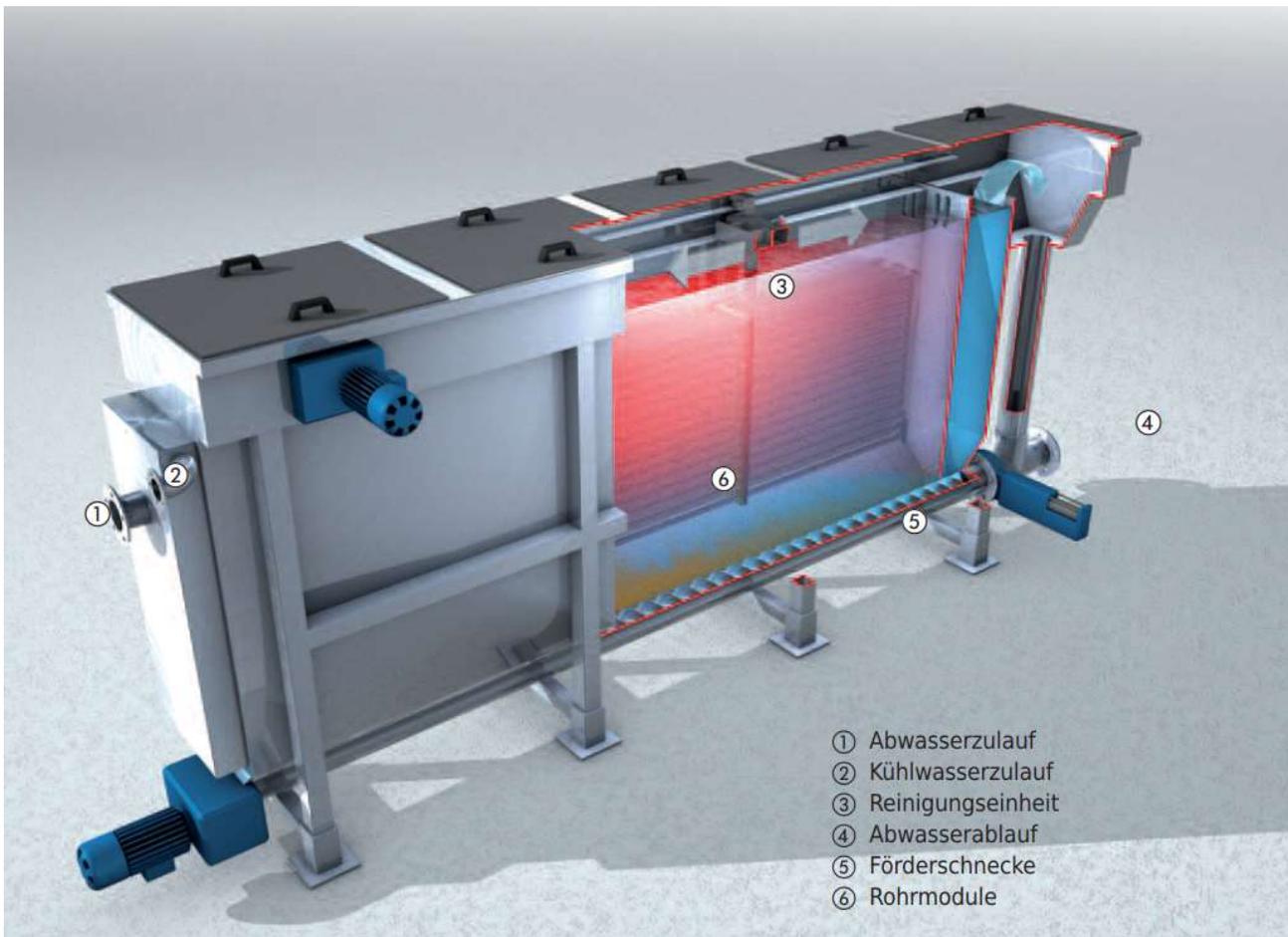


Abb. 19 Bypass-Wärmetauscher mit „Durchlaufbecken“/„Wanne“ und eingehängten Rohrbündelwärmetauschern der Variante 2 (Bypass) (Quelle: Huber AG)

4.2 Bemessung

Auch für die Variante 2 erfolgte die Bemessung in Zusammenarbeit mit einem Hersteller, der über entsprechendes Know-How und spezialisierte Auslegungsprogramme verfügt. Die Entzugsleistung von 2 MW war dabei zur Vergleichbarkeit der Varianten vorgegeben.

Das vorgeschlagene System mit einer Durchflussmenge von ebenfalls 150 l/s ist mit vier parallelen Wärmetauschern ausgelegt, die jeweils einen Platzbedarf (brutto) von ca. 8 x 3 x 4 m (L x B x H) haben. Die Tab. 5 fasst die für das Doppelrohr-Wärmetauscher System die spezifischen Daten zusammen. Auch in dieser Variante muss zum Schutz der Wärmepumpe mit einem Wasser-Glykol-Gemisch im Zwischenkreislauf gefahren werden, der allerdings vollständig in der Heizzentrale untergebracht ist (kein Problem mit Grundwasserschutz).



Tab. 5 Daten Bypass System

Element	Parameter	Wert
Abwasserkanal	Durchmesser (DN)	2030 mm
	Abflussmenge Nachtminimum (Q_{\min})	160 l/s
	Mittl. Abflussmenge Trockenwetter (Q_{TW})	360 l/s
	Bemessungstemperatur (T_{Bem})	12,0 °C
Abwasser im Bypass	Ausleitmenge Abwasser (Q_{Abw})	150 l/s
	Abwassertemperatur Austritt (T_{ab})	8,5 °C
Zwischenkreislauf	Temperatur Vorlauf (T_v)	3,0 °C
	Temperatur Rücklauf (T_R)	7,6 °C
	Durchflussmenge (Q_{zk})	112 l/s

4.3 Skizzenhafte Darstellung des vorgeschlagenen Systems

In Abb. 20 ist die derzeit angedachte Anordnung für den Bypass-Wärmetauscher dargestellt. Das Entnahmebauwerk kann unmittelbar auf Höhe der Heizzentrale platziert werden.

Die genaue Lage des Entnahmebauwerks (links (südlich) oder rechts (nördlich) des Abwasserkanals muss auch in diesem Fall anhand der Gegebenheiten vor Ort und der Vorgaben zur Flächennutzung (Naturschutzgebiet, Schutzstreifen Kanal, etc.) entschieden werden, auf die Kostendarstellung hat diese Entscheidung keine Auswirkung (solange das Entnahmebauwerk sich unmittelbar neben dem Kanal befindet).

Das Entnahmebauwerk stellt sich in der Variante 2 analog zum Entnahmebauwerk in der Variante 1 dar. Von der Ausstattung her enthält es aber noch zwei Siebanlagen sowie drei Abwasserpumpen, die das Abwasser über zwei parallele Leitungen auf jeweils 2 Wärmetauscher leiten. In den „Durchlaufbecken“ findet eine Turbulenzerzeugung durch Lufteinblasen statt, um den Wärmeübergang zu befördern.

Systemgrenze der in dieser Variante durchgeführten Betrachtungen sind die Anschlüsse für den Zwischenkreislauf an den Wärmetauschern. Die Wärmetauscher selbst und die Zuführung sind hier mit berücksichtigt, nicht aber die Vorhaltung des Platzes in der Heizzentrale.

Aufgrund der Nähe des Entnahmebauwerks zur Einleitung des Schmutzwasserkanals aus dem Stadtteil Dietenbach ist die Einleitung des Schmutzwassers über das Entnahmebauwerk möglich. Diese Möglichkeit wurde allerdings seitens des Eigenbetriebs Stadtentwässerung bereits abgelehnt, da eine geteilte Zuständigkeit für die Abwasserableitung abgelehnt wird.

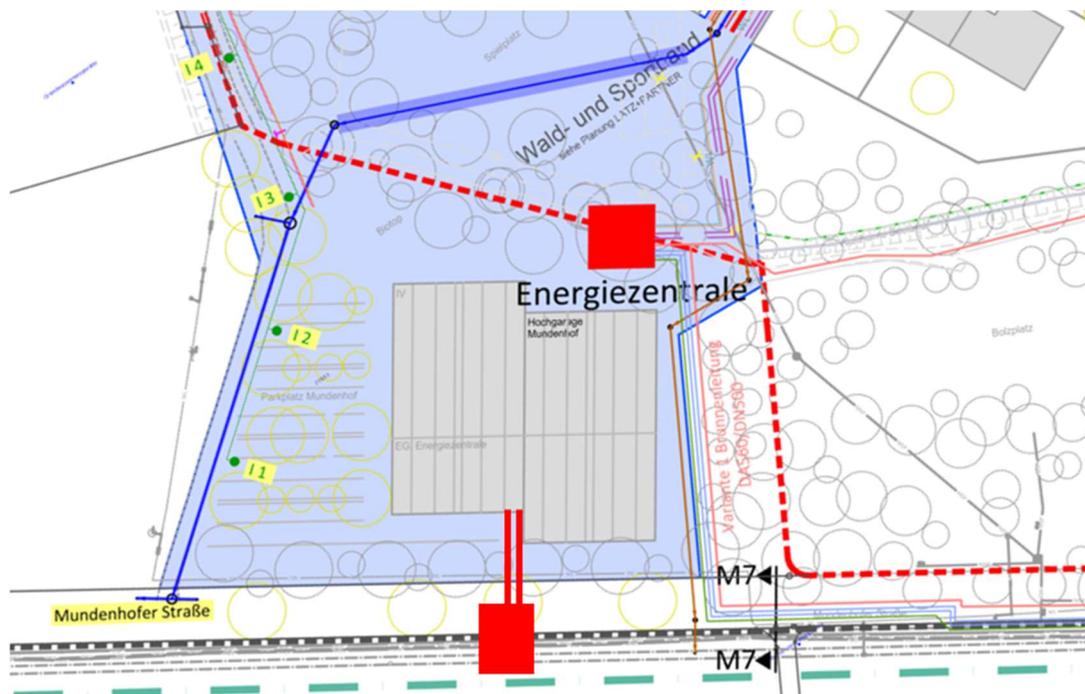


Abb. 20 Anordnung des Entnahmebauwerks in der Variante 2 (Bypass, Kartenausschnitt nicht genordet, Hintergrund: Koordinierter Leitungsplan, Übersichtslageplan, Plan-Nr. 00SO2LK01001, Stand 15.10.2019))

4.4 Kostenermittlung

Bei der Ermittlung der Investitions-, der jährliche Kapital- und Wartungskosten und der Stromkosten wurde von den gleichen Rahmenbedingungen wie in Variante 1 ausgegangen und analog vorgegangen (vgl. Kapitel 3.4).

Die Tabelle mit der Ermittlung der Investitions-, jährlichen Kapital- und Wartungskosten ergibt sich damit wie folgt (Tab. 6).

Tab. 6 Investitions-, jährliche Kapital- und Wartungskosten Variante 2 (Bypass-Wärmetauscher)

Kapitalkosten (brutto)	Investitions-kosten €	Kapitalkosten Zins: 2,0%			Wart./Instands.	
		Nutzung Jahre	Annuität %/a	Kosten €/a	Kosten %/a	Kosten €/a
Entnahmebauwerk	1.190.000,--	50	3,18%	37.870,--	0,2%	2.380,--
2 Schachtsiebanlagen	90.000,--	15	7,78%	7.004,--	2,5%	2.250,--
3 Abwasserpumpen inkl. Verrohrung	200.000,--	15	7,78%	15.565,--	1,5%	3.000,--
Messausrüstung, Steuerung	80.000,--	15	7,78%	6.226,--	1,0%	800,--
Verbindung zur Heizzentrale (Erdarbeiten)	60.000,--	50	3,18%	1.909,--	0,0%	,--
Verbindung zur Heizzentrale (Leitungen)	120.000,--	50	3,18%	3.819,--	0,2%	240,--
Verrohrung in Heizzentrale	100.000,--	15	7,78%	7.783,--	1,0%	1.000,--
4 Wärmetauscher	650.000,--	50	3,18%	20.685,--	0,5%	3.250,--
Glykol für Zwischenkreislauf	70.000,--	25	5,12%	3.585,--	0,5%	350,--
Nebenkosten	520.000,--	25	5,12%	26.635,--		,--
Brutto-Summe	3.080.000,--			131.081,--		13.270,--
				rd. 131.000,--		rd. 13.000,--



Die Stromkosten ergeben sich wie folgt (Tab. 7):

Tab. 7 Stromkosten Variante 2 (Bypass-Wärmetauscher)

Siebanlagen	5.625 kWh/a x	21,42 ct/kWh =	1.205,-- €/a
Abwasserpumpen (aus Siebschacht)	137.729 kWh/a x	21,42 ct/kWh =	29.502,-- €/a
Turbulenz erzeuger etc.	22.500 kWh/a x	21,42 ct/kWh =	4.820,-- €/a
Umwälzpumpe (Zw.-kreislauf)	21.150 kWh/a x	21,42 ct/kWh =	4.530,-- €/a
Brutto-Stromkosten gesamt			40.056,-- €/a
		rund	40.000,-- €/a

Die Jahreskosten, die sich daraus insgesamt ergeben, sind in Tab. 8 Tab. 4 zusammengestellt.

Tab. 8 Jahreskosten Variante 2 (Bypass-Wärmetauscher)

	Jahreskosten (Brutto) €/a
Kapitalkosten	131.000,--
Betriebskosten	13.000,--
Stromkosten	40.000,--
Jahreskosten	184.000,--

Aufgrund der gesetzten Systemgrenze umfassen diese Jahreskosten erneut weder die Kosten für die Verrohrung des Zwischenkreislaufs „nach“ den Wärmetauschern (innerhalb der Heizzentrale), noch die zugehörige Umwälzpumpe oder gar die Wärmepumpen. Der Stromverbrauch für den Betrieb der Umwälzpumpe des Zwischenkreislaufs, der aus den Druckverlusten im Rohrbündelwärmetauscher entsteht, ist allerdings berücksichtigt.

Wie bereits erwähnt sind die Kosten für die Vorhaltung des Platzes in der Heizzentrale sowie die Ausrüstung (Kranbahn) nicht berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.3).

5 EINSCHÄTZUNG UND VERGLEICH DER ERMITTELTEN KOSTEN

Vor dem rein monetären Vergleich der beiden Varianten sei an dieser Stelle noch einmal auf die folgenden Aspekte der Lösungsansätze verwiesen (Tab. 9).

Tab. 9 Qualitativer Vergleich der Varianten

Gesichtspunkt	Variante 1 (Druckrohrwärmetauscher)	Variante 2 (Bypass-Wärmetauscher)
Platzbedarf außerhalb der Heizzentrale	hoch (Fläche kann aber anderweitig genutzt werden)	gering
Platzbedarf und Ausrüstungserfordernis in der Heizzentrale	(nur für Wärmepumpen)	für Wärmetauscher ⁽¹⁾ (und Wärmepumpen)
Führung Wasser-Glykol-Gemisch außerhalb der Heizzentrale	Ja	Nein
Bemessungswerte des Zwischenkreislaufts	Spreizung größer ⁽¹⁾ (Vorlauf 2,0 °C)	Spreizung etwas kleiner (Vorlauf 3,0 °C)

⁽¹⁾ ist auch beim Vergleich der Jahreskosten zu berücksichtigen

Bei gleicher Entzugsleistung ergaben die Kostenermittlungen Jahreskosten von 263.000 €/a (Variante 1) und 184.000 €/a (Variante 2).

Daraus ergeben sich innerhalb der gesetzten Systemgrenzen und bei 4.500 Volllaststunden spezifische Kosten von 29,2 €/MWh (Variante 1) und 20,4 €/MWh (Variante 2).

Ein abschließender Vergleich der Varianten untereinander kann erst nach einer monetären Bewertung des Platzbedarfs in der Heizzentrale (und der unterschiedlichen Spreizungen) erfolgen.

Um auch die Wärmegestehungskosten mit anderen Wärmeerzeugern vergleichen zu können, muss zudem die Systemgrenze erweitert werden.



6 PRIORITÄT DER WÄRMENUTZUNG

Im Hinblick auf eine umweltschonende, diversifizierte und sichere Versorgung mit Wärme ist auch zu berücksichtigen, dass unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, der Versorgungs- und Betriebssicherheit eine Priorität in der Nutzung ergibt. Das bekannteste Beispiel einer Prioritätenliste mit diesem Hintergrund stammt vom Schweizer Bundesamt für Energie (15/) und gibt die folgende Reihenfolge vor:

1. Ortsgebundene hochwertige Abwärme: Abwärme aus Müllverbrennungsanlagen und langfristig zur Verfügung stehende Industrieabwärme, die ohne Hilfsenergie direkt verteilt und genutzt werden kann.
2. Ortsgebundene niederwertige Abwärme und ortsgebundene Umweltwärme: Abwärme aus Abwasserreinigungsanlagen, Kanalisation und Industrie (die langfristig zur Verfügung steht) sowie Umweltwärme aus Grundwasser, tiefe Geothermie, Flüssen und Seen.
3. Rationelle Nutzung vorhandener leitungsgebundener, fossiler Energieträger: In bereits mit Erdgas erschlossenen, dichten Siedlungsgebieten soll die Anschlussdichte erhöht werden (bestehendes Netz effizienter nutzen); der Einsatz von gasbetriebenen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) oder Brennstoffzellen ist anzustreben.
4. Regional verfügbare erneuerbare Energieträger (Energieholz): Nutzung von einheimischem Energieholz in Einzelanlagen für Großverbraucher, Quartierheizzentralen (Holzschnitzelfeuerungen mit Nahwärmeverbund) oder Pelletfeuerungen für kleinere Anlagen sind aus lufthygienischen und betrieblichen Gründen zu bevorzugen.
5. Leitungsgebundene fossile Energieträger: Erweiterungen nur für Gebiete mit einer hohen Energiedichte und/oder Großverbrauchern.

Dieser Rangfolge entsprechend hat die Abwasserwärmenutzung eine sehr hohe Priorität. Hintergrund dieser Bewertung ist vor allem die hohe Ortsgebundenheit der Abwasserwärmenutzung. Mit dem unmittelbar neben der Heizzentrale liegenden Hauptsammler ist die Abwasserwärmenutzung in Dietenbach eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Art der Wärmeezeugung.



Ryser Ingenieure AG

Klinger und Partner

Ingenieurbüro
für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH



Klinger und Partner
Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH

Friolzheimer Straße 3 • 70499 Stuttgart
Telefon: 0711 693308-0 • Telefax: 0711 693308-99
E-Mail: info@klinger-partner.de
Internet: <http://www.klinger-partner.de>

Aufgestellt:
Dr. Jan Butz, Dipl.-Ing.
Beat Kobel, Dipl.-Ing.
Stéphanie Meyer, Dipl.-Ing.

Stuttgart, den 22.10.2021
TS-05517 köm/jb/jb

Andreas Maier
Geschäftsführer

i. A.

Dr. Jan Butz.
Stv. Abteilungsleiter

Beat Kobel
Geschäftsführer Ryser Ingenieure AG

i. A.

Stéphanie Meyer
Projektleiterin Ryser Ingenieure AG

UNTERLAGENVERZEICHNIS

- | | | |
|---|---|---------------------|
| 1 | Dietenbach / Städtebaulicher Rahmenplan / Erläuterungsbericht, K9 Architekten GmbH, Freiburg, Latz + Partner, Kranzburg, Stete Planung, Darmstadt, November 2020 | Erläuterungsbericht |
| 2 | Merkblatt DWA-M 114 „Abwasserwärmenutzung“, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, April 2020 | Regelwerk |
| 3 | Potenzialstudie zur Abwasserwärmenutzung. Abwasserzweckverband Breisgauer Bucht, Ingenieurbüro Klinger und Partner GmbH, Stuttgart, Projekt ID-01171, November 2011 | Erläuterungsbericht |
| 4 | Wanner O., Delavy P., Eugster J., Panagiotidis V. & Siegrist H. (2004): Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen, BFE-Projekt Nr. 44177, Schlussbericht, Dübendorf 2004 | Forschungsbericht |
| 5 | Planungs- und Bauinstrumente zugunsten einer energieeffizienten Wärmeversorgung. Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen, April 2004, Bundesamt für Energie BFE, Schweiz | Forschungsbericht |