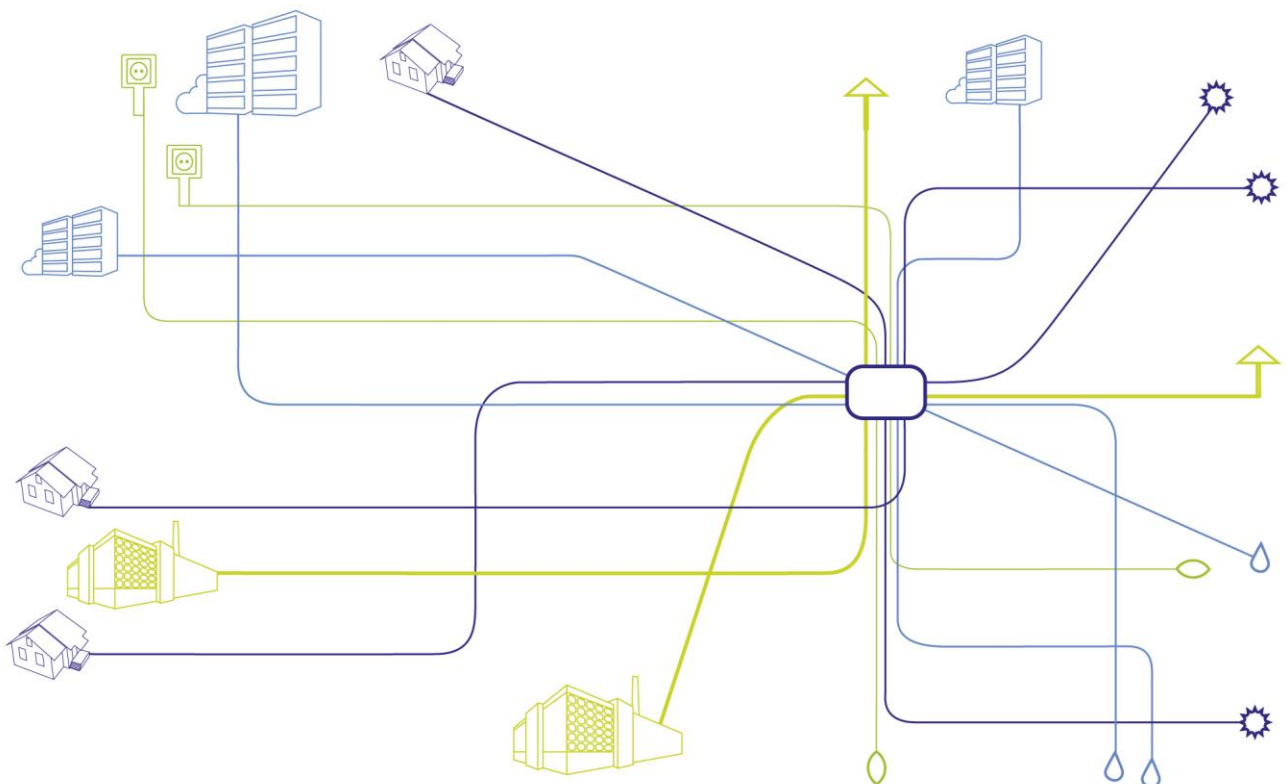




HEAT Channel

Optimierte Nutzung von Abwasserwärme zur Versorgung eines Gewerbegebietes in Frohnleiten



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „**Smart Cities Demo – 9. Ausschreibung**“. Mit diesem Förderprogramm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, große Demonstrations- und Pilotprojekte zu initiieren, in denen bestehende bzw. bereits weitgehend ausgereifte Technologien und Systeme zu innovativen interagierenden Gesamtsystemen integriert werden.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!



Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und
Energiefonds



Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und
Energiefonds

PUBLIZIERBARER ENDBERICHT

A. Projektdetails

Kurztitel:	HEAT Channel
Langtitel:	Optimierte Nutzung von Abwasserwärme zur Versorgung eines Gewerbegebiets in Frohnleiten
Programm:	Smart Cities Demo – 9. Ausschreibung
Dauer:	01.02.2018 bis 30.04.2019
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Franz Mayr-Melnhof-Saurau Forstmanagement und Entwicklungs GmbH
Kontaktperson - Name:	DI Willibald Ehrenhöfer
Kontaktperson – Adresse:	Mayr-Melnhof-Straße 14, 8130 Frohnleiten
Kontaktperson – Telefon:	+43 (0)3126 / 5090
Kontaktperson – E-Mail:	w.ehrenhoefer@mm-forst.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	MM-Ökoressourcen GmbH (Steiermark) Mayr-Melnhof Karton Gesellschaft mbH (Steiermark) Gemeindebetriebe Frohnleiten GmbH (Steiermark) 4ward Energy Research GmbH (Steiermark) TBH Ingenieur GmbH (Steiermark) SPAR Österreichische Warenhandels-AG (Salzburg) Lagerhaus Graz Land reg. Gen. mbH (Steiermark)
Projektwebsite:	https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#heatchannel
Schlagwörter (im Projekt bearbeitete Themen-/Technologiebereiche)	<input type="checkbox"/> Gebäude <input checked="" type="checkbox"/> Energienetze <input type="checkbox"/> andere kommunale Ver- und Entsorgungssysteme <input type="checkbox"/> Mobilität <input type="checkbox"/> Kommunikation und Information
Projektgesamtkosten genehmigt:	630.995 €
Fördersumme genehmigt:	282.516 €
Klimafonds-Nr.:	KR17SC0F13891
Erstellt am:	24.07.2019

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

B. Projektbeschreibung

B.1 Kurzfassung

Ausgangssituation / Motivation:	<p>Im Zentrum der Betrachtungen steht ein Gebiet in unmittelbarer Nähe zum Frohnleitner Bahnhof der ÖBB, welcher in den vergangenen 3 Jahren um EUR 80 Mio. modernisiert wurde. Dieses Gebiet ist im örtlichen Entwicklungskonzept der Stadtgemeinde als eines der bedeutendsten Betriebs- bzw. Betriebsansiedlungsgebiete der Stadt ausgewiesen. Aktuell befinden sich auf der ca. 4 ha großen Fläche u.a. das Produktionsgebäude der MM-Forsttechnik GmbH, das Gebäude der MM-Forstdirektion sowie eine Filiale des Lagerhauses samt Tankstelle. Im Sommer 2019 siedelte sich auf diesem Areal ein neuer Spar-Markt an, ab 2020 wird die Lagerhausfiliale samt Tankstelle komplett neu errichtet. Gemeinsam mit vier weiteren umliegenden Untersuchungsgebieten mit Gebäuden des städtischen Umfelds sowie Wohnbauten besteht ein Potenzial zur Errichtung eines innovativen Wärmeversorgungssystems auf Basis eines Abwasserkanal für gereinigtes Prozesswasser der Mayr-Melnhof Karton Gesellschaft mbH. Dieser Abwasserkanal verläuft von der firmeninternen Abwasserreinigungsanlage im nordöstlichen Teil von Frohnleiten ca. 4 Kilometer entlang des linken Murufers bis zu seiner Einmündung in die Mur im Unterwasserbereich des Flusskraftwerks Rabenstein im Süden der Stadt.</p>
Bearbeitete Themen-/ Technologiebereiche:	<p>Energienetze</p>
Inhalte und Zielsetzungen:	<p>Das aktuell zur Wärmeentnahme eingesetzte System zur Beheizung eines Teiles der Gebäude der MM-Forsttechnik nutzt bei weitem nicht das vorhandene Abwärmepotenzial. Es bietet sich daher die Möglichkeit, das vorhandene Potenzial in optimierter Form als Basis einer innovativen Wärmeversorgung für das bestehende bzw. in Erweiterung befindliche Gewerbegebiet zu nutzen. Ziel des Projektes ist die Planung und Umsetzung eines solchen Wärmeversorgungssystems.</p>
Methodische Vorgehensweise:	<p>Erhebung, Aufbereitung und Analyse aller Informationen und Daten hinsichtlich der Anforderungen und Potenziale aller beteiligten Gebäude bzw. Liegenschaften bzgl. Energieverbrauch bzw. Energieversorgung. Weiters wurde die vorhandene Abwasser-Wärmequelle detailliert untersucht. Auf Basis der Erkenntnisse wurde ein technisches Gesamtkonzept erarbeitet. Hand in Hand mit der Entwicklung des technischen Konzeptes erfolgten wirtschaftliche Bewertungen von Teilsystemen bzw. des Gesamtsystems. Dabei wurde einige Szenarien untersucht. Darauf aufbauend wurde ein</p>

	<p>wirtschaftliches Gesamtkonzept für den Betrieb des Energieversorgungssystems diskutiert.</p>
<p>Ergebnisse und Schlussfolgerungen:</p>	<p>Nachdem die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für mehrere Szenarien auf Basis des ausgearbeiteten technischen Konzepts keine zufriedenstellenden Ergebnisse erbrachten, wurde das Gesamtkonzept sowohl hinsichtlich des Technologieeinsatzes als auch der Abnehmerstruktur geändert. Für das derart angepasste Konzept konnte ein Szenario entwickelt werden, das sich wirtschaftlich darstellen ließ.</p> <p>Im Zuge beginnender Umsetzungsarbeiten musste jedoch festgestellt werden, dass sich einige Rahmenbedingungen im Vergleich mit jenen zu Projektbeginn geändert hatten. Neue Hochwasseruntersuchungen zeigten, dass der geplante Standort der Heizzentrale sowie große Teile des Abwasserkanals in einem HQ-30 Abflussbereich der Mur liegen. Dies bedingt u. a. erhöhte baulichen Auflagen und führt zu einer Erhöhung der notwendigen Investitionen. Weiters stellten sich alternative Versorgungslösungen nun kostengünstiger dar.</p> <p>Dies führte dazu, dass es zu keiner positiven Investitionsentscheidung hinsichtlich einer Demonstrationsanlage gekommen ist und ein Projektabbruch beschlossen wurde.</p>
<p>Ausblick:</p>	<p>Falls die weitere Entwicklung der im Rahmen des Projekts betrachteten Gebiete dazu führt, dass sich dort vermehrt Niedertemperatur-Wärmeabnehmer ansiedeln, ist eine neuerliche Betrachtung der Wirtschaftlichkeit des Systems zu empfehlen.</p>

B.2 English Abstract

Initial situation / motivation:	<p>The focus is on an area close to the Frohnleitner ÖBB train station, which has been modernized over the past three years by EUR 80 million. This area is identified in the local development concept of the municipality as one of the city's most important business and residential areas. Currently, the production area of MM-Forsttechnik GmbH, the building of MM-Forstdirektion as well as a branch of the Lagerhaus are located on the approx. 4 ha large area. In the summer of 2019, a new SPAR market was established on this site. From 2020, the Lagerhaus branch will be completely rebuilt. Together with other surrounding buildings of the urban environment as well as residential buildings there is a potential for the construction of an innovative heat supply system based on a sewer for purified process water of Mayr-Melnhof Karton Gesellschaft mbH. This sewer runs from the company-owned wastewater treatment plant in the northeastern part of Frohnleiten about 4 kilometers along the left bank of the Mur to its confluence with the Mur in the underwater area of the river power plant Rabenstein in the south of the city.</p>
Thematic content / technology areas covered:	<p>Energy networks</p>
Contents and objectives:	<p>The system currently used to heat a part of the buildings of MM-Forsttechnik does not use the available waste heat potential by far. It is therefore possible to use the existing potential in optimized form as the basis of an innovative heat supply for the existing or expanding commercial area. The aim of the project is the planning and implementation of such a heat supply system.</p>
Methods:	<p>Collection, preparation and analysis of all information and data regarding the requirements and potentials of all participating buildings or properties with regard to energy consumption or energy supply. Furthermore, the existing wastewater heat source was examined in detail. Based on the findings, an overall technical concept was developed. Hand in hand with the development of the technical concept, economic evaluations of subsystems or of the entire system were carried out. Some scenarios were examined. Based on this, an overall economic concept for the operation of the energy supply system was discussed.</p>
Results:	<p>After the profitability calculations for several scenarios based on the elaborated technical concept did not produce any acceptable results, the overall concept was changed in terms of both the use of technology and the customer structure. An economic scenario could be developed for the adapted concept.</p>

	<p>At the beginning of the implementation work, however, it had to be determined that some framework conditions had changed compared to those at the start of the project. New flood investigations showed that the planned location of the heating center and large parts of the sewer are in an HQ-30 drainage area of the Mur. This means, among other things, increased structural requirements and leads to an increase in the necessary investments. Furthermore, alternative supply solutions were now cheaper.</p> <p>This meant that no positive investment decision regarding a demonstration plant was made and a project termination was decided.</p>
<p>Outlook / suggestions for future research:</p>	<p>If the further development of the areas considered in the project leads to an increase in the location of low-temperature heat consumers, a reassessment of the economic viability of the system is recommended.</p>

B.3 Einleitung

ANMERKUNG: Das Projekt HEAT Channel musste leider nach 15 Monaten Laufzeit abgebrochen werden, da sich eine Umsetzung nicht wirtschaftlich darstellen ließ. Der vorliegende Endbericht stellt eine Zusammenfassung der Inhalte der folgenden, laut Projektantrag bis zum Abbruchzeitpunkt relevanten Deliverables dar:

- D 2.1 Technische Spezifikationen und Parameter des Energieversorgungssystems
- D 3.1 Bericht über das wirtschaftliche Gesamtkonzept

Das Deliverable 2.1 sollte im Wesentlichen eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Arbeiten des Arbeitspakets 2 „Abstimmung der Anforderungen und Potenziale“ darstellen. Dieses Arbeitspaket widmete sich der detaillierten Erhebung, Aufbereitung und Analyse aller Informationen und Daten, welche die Anforderungen und Potenziale aller beteiligten Gebäude hinsichtlich Energieverbrauch bzw. Energieversorgung betreffen. Weiters wird die vorhandene (Abwasser-)Wärmequelle detailliert untersucht. Die Erkenntnisse sind in das technische Gesamtkonzept eingeflossen.

Folgende Arbeiten des AP 2 werden dokumentiert:

Erfassung und Analyse aller relevanten Daten: Als Grundlage für das technische Konzept sowie die technische Detailplanung des Wärmeversorgungssystems wurden Informationen zu den beteiligten Gebäuden sowie der Abwärmequellen erhoben und zusammengeführt.

Konzeption von Teilsystemen: Aufbauend auf den Erkenntnissen der Datenanalyse erfolgte die Konzeption von Teilsystemen des Wärmeversorgungssystems mit dem Ziel, die zur Anwendung kommenden Technologien für Erzeugung, Übertragung und Verteilung sowie deren technische Parameter zu definieren. Weiters wurde die notwendige Infrastruktur (Standorte, Netzinfrastruktur, notwendige Messpunkte etc.) definiert.

Erarbeitung eines technischen Gesamtkonzepts: Die Ergebnisse und Erkenntnisse der vorangegangenen Arbeiten wurden zu einem technischen Gesamtkonzept zusammengeführt. Das Gesamtkonzept wurde validiert, um eine Entscheidung für die Investitionen aus technischer Sicht herbeiführen zu können.

Das Deliverable 3.1 sollte im Wesentlichen eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Arbeiten des Arbeitspakets 3 „Geschäfts- und Betreibermodelle“ darstellen. Dieses Arbeitspaket widmete sich der wirtschaftlichen Bewertung von Teilsystemen sowie eines Gesamtsystems. Diese Arbeiten erfolgten in enger Abstimmung mit den Arbeiten des AP 2. Übergreifend über AP 2 und AP 3 wurde versucht ein technisches Gesamtkonzept zu erarbeiten, das wirtschaftlich darstellbar ist.

Folgende Arbeiten des AP 3 werden dokumentiert:

Wirtschaftliche Bewertung der Wärmeversorgung: Als Grundlage für das wirtschaftliche Gesamtkonzept wurden Teilsysteme in verschiedenen Kombinationen wirtschaftlich bewertet.

Erarbeitung eines wirtschaftlichen Gesamtkonzepts: Die Ergebnisse und Erkenntnisse der vorangegangenen Arbeiten wurden in enger Abstimmung mit den Arbeiten des AP 2 zu einem wirtschaftlichen Gesamtkonzept zusammengeführt. Das Gesamtkonzept wurde validiert, um eine Entscheidung für die Investitionen aus wirtschaftlicher Sicht herbeiführen zu können.

B.4 Ausgangssituation

B.4.1 Projektgebiet in der Stadtgemeinde Frohnleiten

Gegenstand dieser Untersuchung ist ein Abwasserkanal für Prozesswasser der Mayr-Melnhof Karton Gesellschaft mbH in Frohnleiten (Steiermark). Dieser Abwasserkanal mit einer Länge von ca. 4 Kilometer verläuft von der firmeninternen Abwasserreinigungsanlage im nordöstlichen Teil von Frohnleiten entlang des linken Murufers. Die Einmündung des Kanals in die Mur findet im Unterwasserbereich des Flusskraftwerks Rabenstein im Süden der Stadt statt. Ein Lageplan in Form eines Luftbildes mit dem Verlauf des Abwasserkanals ist in Abbildung 1 zu sehen.

Im Zuge der Antragsstellung wurden Objekte im Stadtgebiet ausgewählt, die einen direkten Nutzen aus dem Abwasserkanal haben könnten. Aufgrund des großen Abwärmepotentials, der zunehmenden Anzahl an potentiellen Wärmeabnehmern und um den Überblick zu bewahren, wurden entlang des Abwasserkanals 5 Untersuchungsgebiete (UG) festgelegt. Die ungefähre Lage dieser Untersuchungsgebiete kann ebenfalls Abbildung 1 entnommen werden.

Das Untersuchungsgebiet 3 (UG 3) steht im Zentrum der Betrachtungen. Es liegt in unmittelbarer Nähe zum Frohnleitner Bahnhof der ÖBB, welcher in den vergangenen 3 Jahren um EUR 80 Mio. umgebaut wurde, ist im örtlichen Entwicklungskonzept der Stadtgemeinde als eines der bedeutendsten Betriebs- bzw. Betriebsansiedlungsgebiete der Stadt ausgewiesen¹ und deshalb von besonderer Bedeutung. Aktuell befinden sich auf der ca. 4 ha großen Fläche u.a. das Produktionsgebäude der MM-Forsttechnik GmbH, das Gebäude der MM-Forstdirektion sowie eine Filiale des Lagerhauses samt Tankstelle. Im Sommer 2019 siedelt sich auf diesem Areal ein neuer Spar-Markt an, ab Herbst 2019 wird die Lagerhausfiliale samt Tankstelle komplett neu errichtet.

Gemeinsam mit vier weiteren umliegenden Untersuchungsgebieten mit bereits bestehenden Gewerbebauten, die adaptiert werden (u.a. MM-Bauhof, MM-Forsttechnik, MM-Forstdirektion), Gebäuden des städtischen Umfelds (Volkshaus, Krankenpflegeschule, Technologie- und Marketingcenter (TMC), Sport- und Freizeitpark) sowie Wohnbauten (Hauptschloss, Gartenhaus) entsteht ein Potenzial zur Errichtung eines innovativen Wärmeversorgungssystems.

¹ Stadtgemeinde Frohnleiten, 2016. Entwicklungsleitbild Frohnleiten 2025+

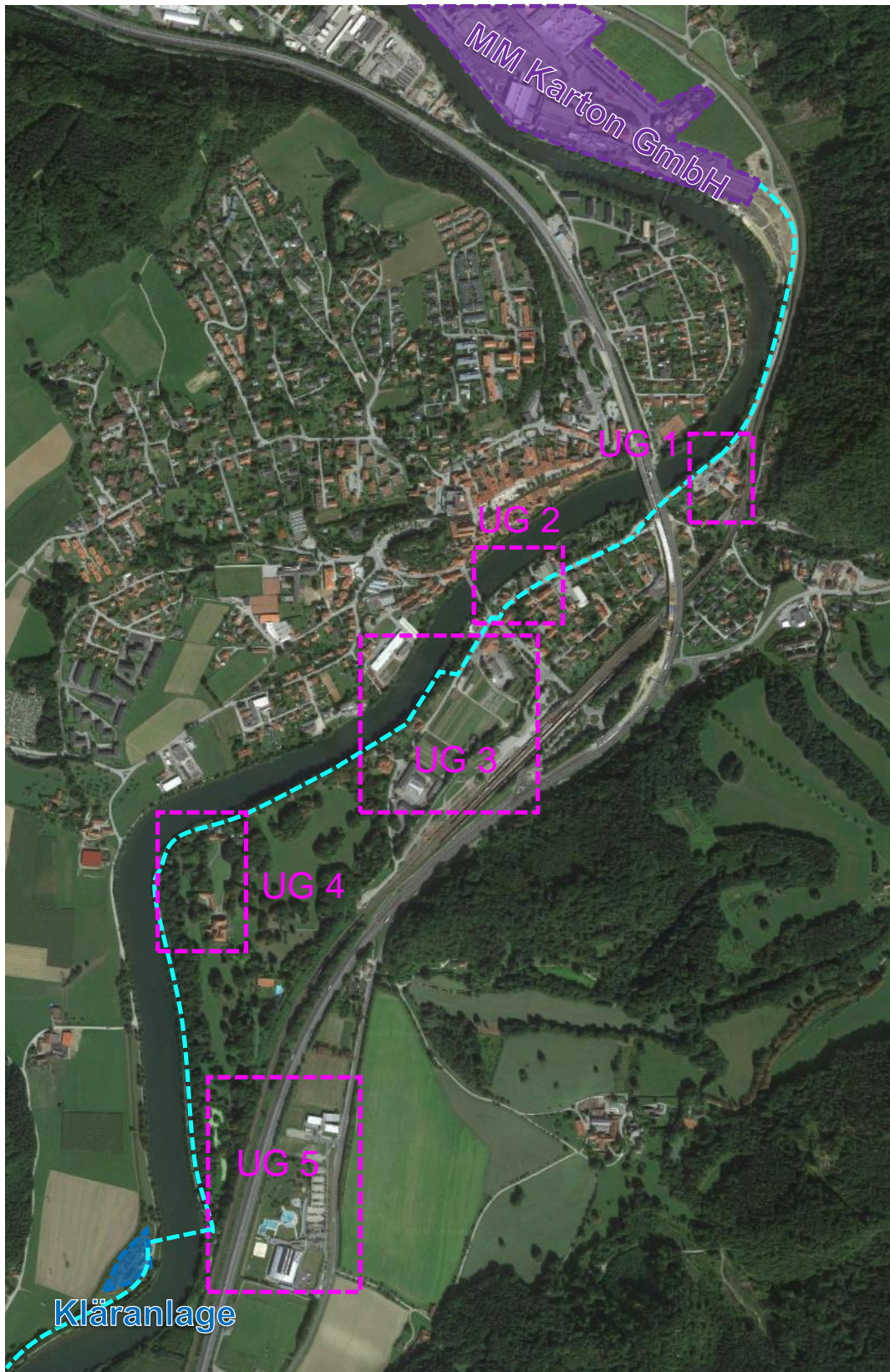


Abbildung 1: Luftbild mit Kennzeichnung der relevanten Flächen²

² Aufnahme Frohnleiten (bearbeitet durch Autor), Google©, Google Maps, 22.06.2018, www.google.com/maps

B.4.2 Kurzbeschreibung des innovativen Wärmeversorgungssystems

Ausgangspunkt der Überlegungen bzgl. des innovativen Wärmeversorgungssystems ist die optimierte Nutzung der Abwasserwärme der Abwasserreinigungsanlage (ARA) der Mayr-Melnhof Karton Gesellschaft mbH. Einerseits existiert bei der aktuellen Nutzung (Beheizung eines Teiles der Gebäude der MM-Forsttechnik in UG 3) das Problem, dass aus unterschiedlichen Gründen die Pumpen und auch die Wärmetauscher regelmäßig verstopfen und nur sehr aufwändig zu reinigen sind. Andererseits nutzt das aktuelle System bei weitem nicht das vorhandene Abwärmepotential. Es bietet sich daher die Möglichkeit, das vorhandene Potenzial in optimierter Form als Basis einer innovativen Wärmeversorgung für das bestehende bzw. in Erweiterung befindliche Gewerbegebiet zu nutzen. Dafür müssen die Lage der Wärmeentnahmestellen, die Art der Wärmübergabe sowie die Wärmeverteilung neu geplant werden.

B.4.3 Wärmequelle

Dieses Kapitel befasst sich mit der Beschreibung der Wärmequelle sowie den für deren Nutzung maßgeblichen Rahmenbedingungen.

B.4.3.1 Beschreibung der Wärmequelle

Die Wärmequelle, welche für das innovative Wärmeversorgungssystem genutzt werden soll, ist das (bereits gereinigte) Prozessabwasser der Mayr-Melnhof Karton Gesellschaft bMh (MM-Karton). MM-Karton und deren ARA sind, ebenfalls wie die Untersuchungsgebiete (UG 1 bis UG 5), am linken Murufer gelegen - jedoch weiter stromaufwärts. In der betrieblichen ARA wird das Prozessabwasser gereinigt. In der mechanischen Klärstufe werden Feststoffe aus dem Wasser entfernt und das gereinigte Wasser wird zum überwiegenden Teil wieder dem Produktionsprozess zugeführt. Jener Anteil, der nicht mehr in die Produktion gelangt, wird zusätzlich biologisch gereinigt und anschließend dem Vorfluter zugeführt. Für die ordnungsgemäße biologische Reinigung muss das Abwasser zuvor auf dem Betriebsgelände abgekühlt werden. Erst danach kann dieses der biologischen Reinigung zugeführt werden. Dadurch ist eine Erhöhung der Abwassertemperatur nach der ARA und somit eine Steigerung des Abwärmepotentials aktuell nicht möglich. Nach der biologischen Reinigung fließt das geklärte Abwasser in einem ca. 4 Kilometer langen Abwasserkanal durch Ortsteile von Frohnleiten, bis das Abwasser schließlich in der Verwirbelungszone im Unterwasserbereich des Flusskraftwerks Rabenstein in die Mur eingeleitet wird. Dabei führt der Abwasserkanal durch das projektgegenständliche Gebiet (siehe Abbildung 1).

B.4.3.2 Beschreibung des Abwasserkanals

Der Abwasserkanal ist im Besitz des Abwasserverbandes Raum Frohnleiten und wurde 1987 errichtet. Er verläuft am linken Murufer auf einer Länge von ca. 4 km von der ARA der MM-Karton bis zum Unterwasserbereich des Flusskraftwerks Rabenstein. Ab dem Ende des Werkgeländes von MM-Karton verläuft der Kanal unter der Wannersdorferstraße, Brunnhof und Josef-Ortis-Straße bis zur Kreuzung mit der Mauritzener Hauptstraße. Auf diesem Abschnitt beträgt der Rohrdurchmesser des Kanals 500 mm, kurz vor dem Erreichen der Mauritzener Hauptstraße erweitert sich der Rohrdurchmesser auf 600 mm, da der weitere Verlauf des Kanals über ein geringeres Gefälle verfügt. Nach der Unterquerung der Mauritzener Hauptstraße führt der Kanal knapp neben dem Murufer unter der Mayr Melnhof Straße bis zum Gebäude der Forstdirektion – in diesem Bereich befinden sich die Anlagen zur aktuellen Wärmenutzung. Anschließend verläuft der Kanal weiter entlang des linken Murufers über ein Privatgrundstück von Franz Mayr-Melnhof Saurau, bis er auf Höhe der Kläranlage Frohnleiten mittels eines Dükers auf das rechte Murufer wechselt. Parallel zum oberirdischen Vorfluter der kommunalen

Kläranlage führt der Kanal bis zum Unterwasserbereich des Flusskraftwerks Rabenstein. Entlang des Verlaufes des Kanals befinden sich 92 Schächte. Das Rohrsystem des Abwasserkanals besteht aus innenseitig glasierten Steinzeug-Rohren. Laut wasserrechtlicher Genehmigung ist der Kanal für eine maximale Durchflussmenge von 10.000 m³ pro Tag ausgelegt.

Die Reinigung eines Teilstückes des Kanals und eine diesbezügliche Kamerabefahrung haben gezeigt, dass Sedimentablagerungen sowie anhaftende Verschmutzungen in wesentlichem Umfang vorliegen. Deshalb ist eine Reinigung des Kanals über den kompletten Verlauf unumgänglich. In Absprache zwischen dem Abwasserverband und MM-Karton konnten dafür mögliche Zeitfenster identifiziert werden. Bei MM-Karton werden die beiden vorhandenen Kartonmaschinen jeweils alle 8 Woche zu Wartungszwecken kurzzeitig außer Betrieb gesetzt. In diesem Zeitfenster, während dessen nur eine Kartonmaschine in Betrieb ist, kann das Abwasser für ca. 2 bis 3 Stunden am Gelände der MM-Karton gepuffert werden. Diese 2 bis 3 Stunden stehen für eine Reinigung des Kanals zur Verfügung. In diesem Zeitfenster können ca. 250 Laufmeter des Kanals gereinigt werden. Der Stillstand der Kartonmaschinen erfolgt im Abstand von einer Woche. D.h., dass die Reinigung jeweils in jeder 7. und 8. Woche durchgeführt werden kann. Um den Abwasserkanal auf der gesamten Länge (ca. 4 Kilometer) zu reinigen, würde somit eine Zeitspanne von ca. 15 Monaten benötigt. Um einen derart langen notwendigen Zeitraum zu vermeiden sowie die Reinigungsarbeiten zügiger und flexibler (und somit auch günstiger) durchführen zu können, wurde von MM-Karton um Genehmigung zur Errichtung eines Notbypasses angesucht, der im Fall von Störungen sowie Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten bzgl. des Abwasserkanals genutzt werden kann, um Produktionseinschränkungen und Auswirkungen auf die Biologie der ARA zu vermeiden. Die Benutzung des Notbypasses soll sich ausschließlich auf den Zeitraum der notwendigen Arbeiten beschränken. Das Ansuchen wurde von der zuständigen Behörde genehmigt.

B.4.3.3 Potenzial der Wärmequelle

Wie bereits erwähnt, nutzt die MM Forsttechnik GmbH das Abwasser bereits als Wärmequelle für einen Teil der Gebäudebeheizung, das vorhandene Potential wird jedoch bei weitem nicht ausgeschöpft. Wie man aus

gut erkennen kann, werden stündlich durchschnittlich 250 m³ Abwasser mit im Mittel 37 °C an den Abwasserkanal abgegeben. Die Temperatur- und Durchflussmessung wurde dabei im Stundentakt direkt nach der ARA durchgeführt.

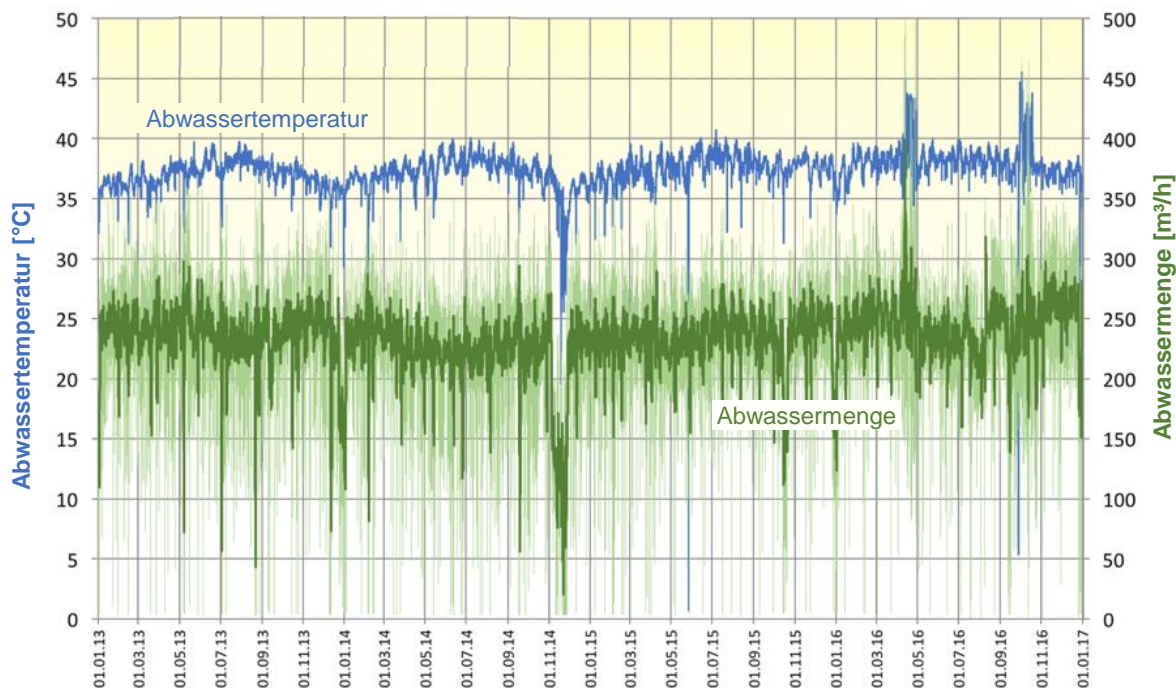


Abbildung 2: Temperatur und Volumenstrom des Abwassers direkt nach der ARA

B.4.3.4 Rahmenbedingungen für die Nutzung der Abwasserwärme

Aufgrund der Eigentümer und Nutzungsstruktur ergeben sich einige Rahmenbedingungen, auf die im Zuge einer Nutzung der Abwasserwärme Rücksicht genommen werden muss.

Genehmigungen und bestehende vertragliche Regelungen

- Wasserrechtliche Genehmigung des Abwasserkanals: Bescheid der Stmk. LRG vom 29.06.1987 GZ: 3-33 Fo 11-87/60
- Wasserrechtliche Genehmigung der aktuellen Nutzbarmachung der Abwasserwärme zur Beheizung eines Teiles der Gebäude der MM-Forsttechnik unter GZ 3.0-197/2006 der BH Graz Umgebung
- Eine Vereinbarung zwischen MM-Karton, Abwasserverband Raum Frohnleiten sowie Franz Mayr-Melnhof-Saurau (FMM) aus dem Jahr 2007 regelt die wechselseitigen Rechte und Pflichten hinsichtlich einer Nutzung der Abwasserwärme durch von FMM beherrschte Gesellschaften sowie dem Abwasserverband. In der Vereinbarung sind die Rahmenbedingungen der aktuellen Nutzung zur Beheizung eines Teiles der Gebäude der MM-Forsttechnik sowie jene einer zukünftigen weiteren Nutzung der Abwasserwärme geregelt.

Rahmenbedingungen für einen störungsfreien Betrieb der Produktion und Abwasserreinigung der MM-Karton

Die folgenden Aspekte sind eine nicht abschließende Zusammenfassung von Aspekten, die im Rahmen von Gesprächen mit MitarbeiterInnen von MM-Karton identifiziert wurden.

- Die Funktion der Abwasserableitung aus der ARA der MM-Karton (vom Einleitschacht bei der ARA bis zum Unterwasser des Kraftwerkes Rabenstein) darf durch keinerlei Maßnahmen beeinträchtigt werden.
- Es darf weder im Normalbetrieb noch bei Sonderfällen (Hochwasser, Störungen in der Biologie, Werksstillstände usw.) negative Auswirkungen auf die Abwasserableitung von MM-Karton geben.
- Eine eventuelle weitere Wärmeauskopplung sollte bestenfalls in einem Bypass eines Schachtes erfolgen, der Hauptdurchfluss darf nicht eingeschränkt werden.
- Ein direkter Einschub von Wärmetauscherflächen in den Kanal muss so gestaltet sein, dass der Ein- und Ausbau von Wärmetauschern sowie Wartungstätigkeiten ohne Absperrung des Abwasserkanals möglich sind. Alternativ muss ein Bypass vorhanden sein, damit der Abfluss des Abwassers nicht beeinträchtigt wird.
- Ein längerer Kanalstillstand (mehrere Tage) zur Durchführung von Arbeiten hinsichtlich einer Nutzbarmachung der Abwasserwärme ist praktisch nicht durchführbar, da für diesen Zweck das gesamte Werk (sprich alle Maschinen) über Tage hinweg stillstehen müssten.
- Sämtliche Eingriffe im Bereich Abwasserkanal müssen wasserrechtlich genehmigt werden.
- Bzgl. möglicher zukünftiger Erhöhung des Durchflusses aufgrund z.B. Betriebserweiterungen: MM-Karton ist bis dato kein Engpass ablaufseitig bekannt. Bis zum zulässigen Konsenswert der Abwassermenge des Wasserrechtsbescheids von maximal 10.000 m³/d gibt es derzeit noch ausreichend Spielraum. Aus aktueller Sicht ist eine Erhöhung des Konsenswertes der Abwassermenge nicht erkennbar. Die Abwassermenge ist in den letzten Jahren nur geringfügig gestiegen. Vorhersagen über Marktentwicklungen oder behördliche Auflagen, die einen Ausbau, Technologiewechsel und dergleichen nach sich ziehen würden, können nicht seriös getroffen werden.

B.4.4 Wärmeabnehmer

In diesem Kapitel werden die einzelnen möglichen Wärmeabnehmer behandelt. Wichtige Aspekte dabei sind u.a. deren Lage, aktuelle Situation bzgl. Wärmeversorgung (Rahmenbedingungen, Wärmebedarf, eingesetzte Technologien etc.) sowie spezifische Möglichkeiten einer Einbindung ins geplante Versorgungssystem.

Grundsätzlich wurde versucht, die Anzahl der potenziellen Wärmeabnehmer gegenüber der im Antrag dargestellten Ausgangssituation zu erhöhen, da eine Wärmeauskoppelung an mehr als einer Stelle des Kanals, also eine kaskadische Nutzung, als durchaus sinnvoll erschien. Eine Diskussion zu potenziellen Wärmeabnehmern führte dazu, dass schließlich 16 Objekte berücksichtigt wurden (laut Antrag 5 Objekte). In weiterer Folge wurden diese Objekte geclustert und in 5 Untersuchungsgebiete („UG“) eingeteilt. Zum Antrag stellt dies eine deutliche Ausweitung des (möglichen) Projektgebietes dar.

Durch die Berücksichtigung kommunaler Gebäude sollte auch eine stärkere Einbindung der Stadtgemeinde Frohnleiten erfolgen (Volkshaus sowie Krankenpflegeschule (UG 2); Technologie- und Marketingcenter sowie Sport und Freizeitpark (UG 5)).

B.4.4.1 Lage der Wärmeabnehmer entlang des Abwasserkanals

Die Lage der 5 Untersuchungsgebiete sowie der Verlauf des Abwasserkanals sind in Abbildung 3 dargestellt. Die Nummerierung der Untersuchungsgebiete bezieht sich dabei auf deren Reihenfolge in Fließrichtung des Abwassers. Das Untersuchungsgebiet 1 ist also das erste, welches Energie aus dem Abwasser entzieht, während das Untersuchungsgebiet 5 knapp vor der Einleitung des Abwassers in die Mur lokalisiert ist. Im Folgenden werden die einzelnen Untersuchungsgebiete mit den jeweiligen Abnehmern und einem Vorschlag zur Leitungsführung im Detail dargestellt.

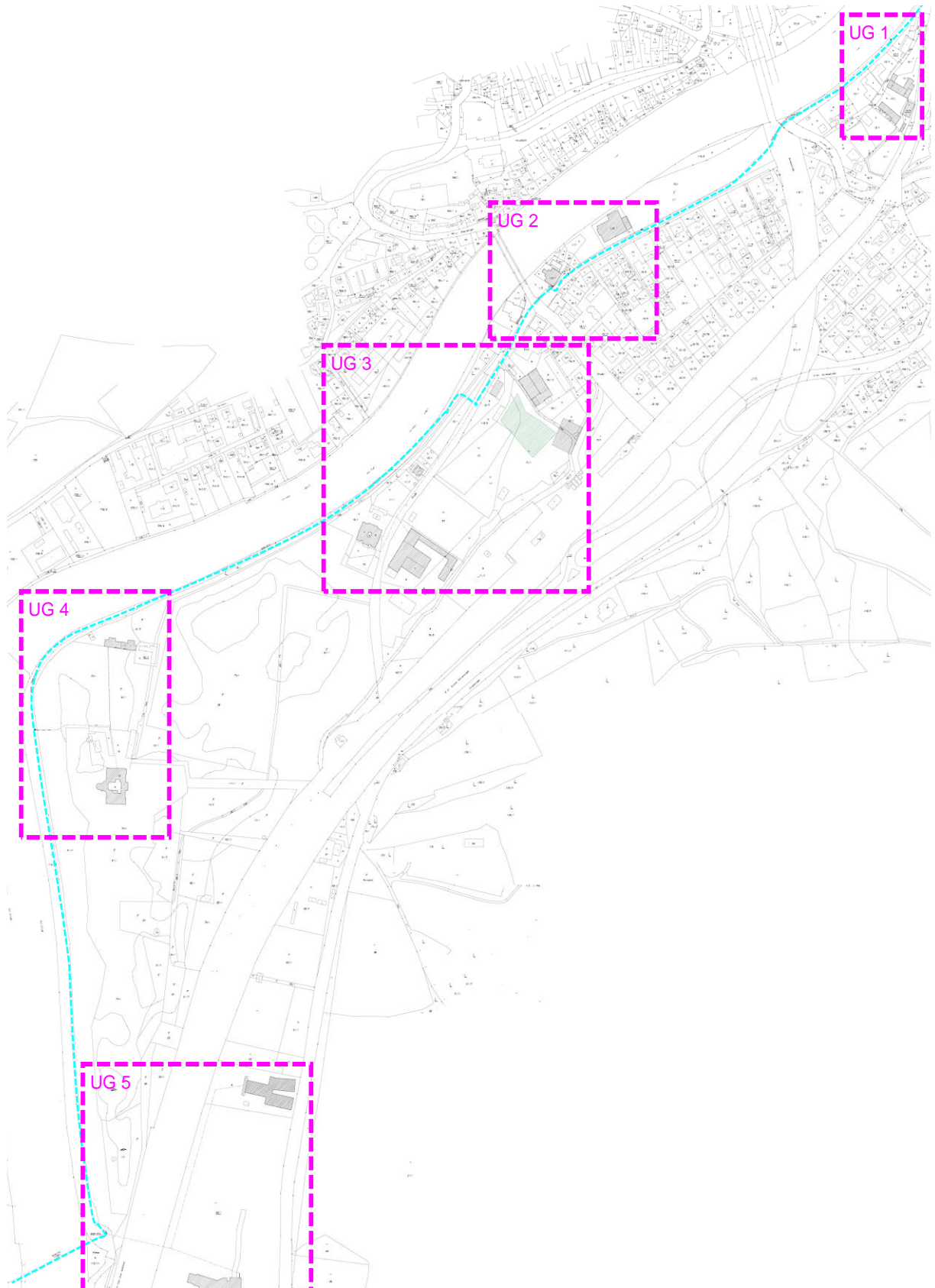
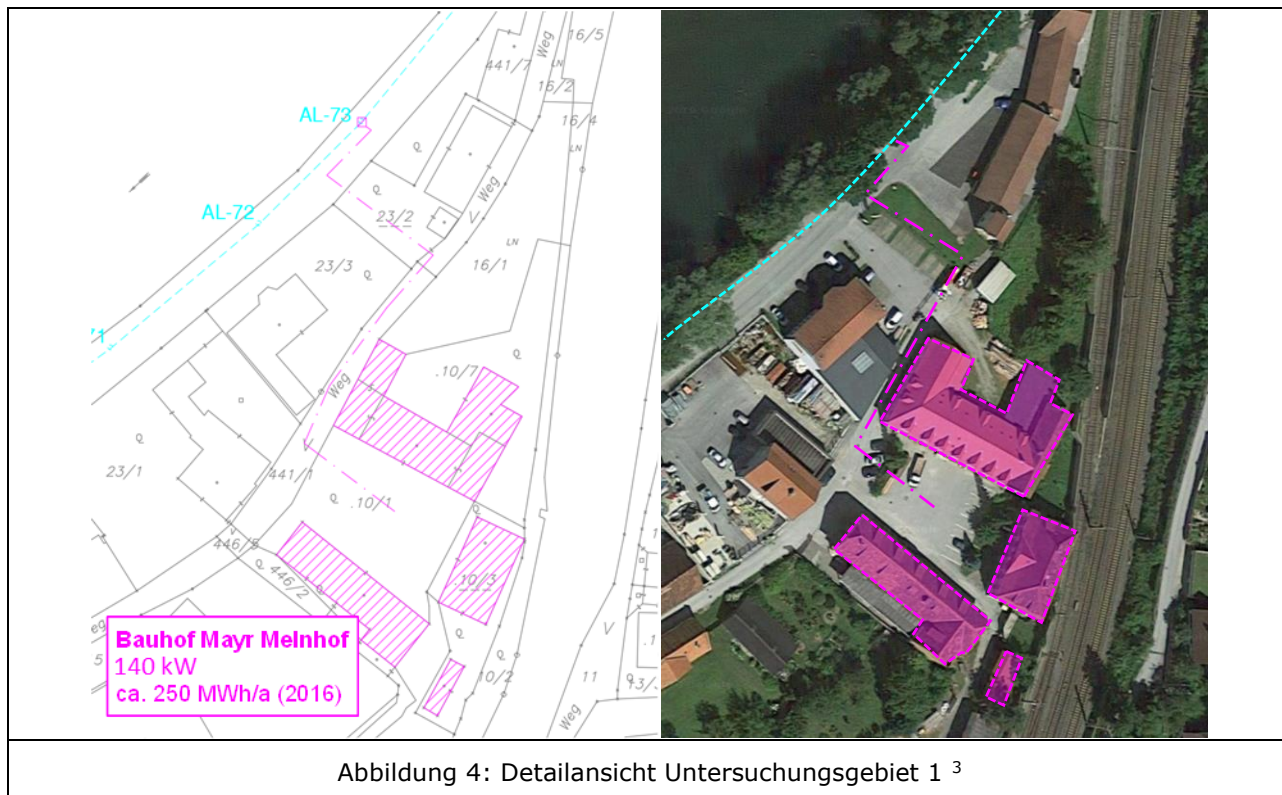


Abbildung 3: Übersicht über die Untersuchungsgebiete in Frohnleiten

B.4.4.2 Untersuchungsgebiet 1

Der erste mögliche Abnehmer entlang des Abwasserkanals ist der Bauhof von Mayr Melnhof. Dieser bildet das in Abbildung 4 dargestellte Untersuchungsgebiet 1. Der Gebäudekomplex wird aktuell mit einem Gaskessel mit einer Heizleistung von 140 kW versorgt. Im Jahr 2016 wurde ein Wärmeverbrauch von ca. 250 MWh/a verzeichnet.

Ein Anschluss des Gebäudes kann über den Schacht AL-73 (alternativ AL-72) vorgenommen werden. Eine mögliche Leitungsführung könnte über die aktuell unverbauete Parzelle 23/2 führen. Hierfür wäre eine Leitungslänge von ca. 115 m notwendig.



B.4.5 Untersuchungsgebiet 2

Das in Abbildung 5 dargestellte Untersuchungsgebiet 2 besteht aus zwei möglichen Einzelabnehmern, dem Volkshaus sowie der Schule für Gesundheits- und Krankenpflege Frohnleiten. Darüber hinaus wurden drei weitere Gebäude identifiziert, für die ein Anschluss ebenfalls interessant sein könnte. Dabei handelt es sich um Mehrfamilienwohnhäuser, mit deren Eigentümer allerdings während der Projektlaufzeit keine Gespräche bezüglich eines möglichen Anschlusses geführt wurden.

³ Aufnahme Bauhof Mayr Melnhof (bearbeitet durch Autor), Google©, Google Maps, 22.16.2018, www.google.com/maps



Abbildung 5: Detailansicht Untersuchungsgebiet 2 ⁴

B.4.5.1 Volkshaus Frohnleiten

Das Volkshaus in Frohnleiten, zu sehen in Abbildung 6, ist ein Veranstaltungszentrum inklusive eines Restaurants. Beheizt wird das Volkshaus aktuell mit zwei Gasbrennwertkesseln mit Nennwärmeleistungen von 160 kW bzw. 120 kW. Im Jahr 2016 verzeichnete das Volkshaus einen Wärmeverbrauch von 187 MWh/a.

Ein Anschluss des Gebäudes kann über den Schacht AL-61 (bzw. AL-60) erfolgen. Es besteht die Möglichkeit, den Heizraum im Keller des Gebäudes von der Straßenseite (Ostseite) über einen im Gebäude liegenden Schacht zu erreichen.



Abbildung 6: Volkshaus Frohnleiten⁵

B.4.5.2 Schule für Gesundheits- und Krankenpflege Frohnleiten

Die Schule für Gesundheits- und Krankenpflege Frohnleiten, zu sehen in Abbildung 7, wird aktuell mit einem Gasbrennwertkessel mit einer Nennwärmeleistung von 50 kW beheizt. Der Wärmebedarf beträgt ca. 60 MWh/a.

Die Anbindung kann über den direkt vor dem Gebäude liegenden Schacht AL 58 erfolgen.

⁴ Aufnahme Untersuchungsgebiet 2 (bearbeitet durch Autor), Google©, Google Maps, 22.06.2018, www.google.com/maps

⁵ Stadtgemeinde Frohnleiten, www.frohnleiten.org, aufgerufen am 19.06.2018



Abbildung 7: Schule für Gesundheits- und Krankenpflege Frohnleiten⁶

B.4.5.3 Untersuchungsgebiet 3

Das Untersuchungsgebiet 3 (siehe Abbildung 8) besteht aus sechs möglichen Einzelabnehmern (SPAR-Filiale, Lagerhausfiliale, Pflanzgartengebäude von Mayr-Melnhof, MM Forsttechnik GmbH, MM Forstdirektion, Büroneubau), die im Folgenden im Detail beschrieben werden. Die geografische Lage ist in Abbildung 8 dargestellt. Dargestellt ist ebenso eine Wärmeverteilungsvariante mit einer zentralen Entnahmestation (z.B.: bei Kanalschacht AL 46). Diese Variante bietet den Vorteil, dass ein Backup-System mittels einer zentralen Kesselanlage realisiert werden kann. Ebenfalls ist ein Areal eingezeichnet, auf dem zukünftig eine Wohnbebauung realisiert werden könnte. Diese stellt eine Option für einen späteren Anschluss an das Wärmenetz dar.

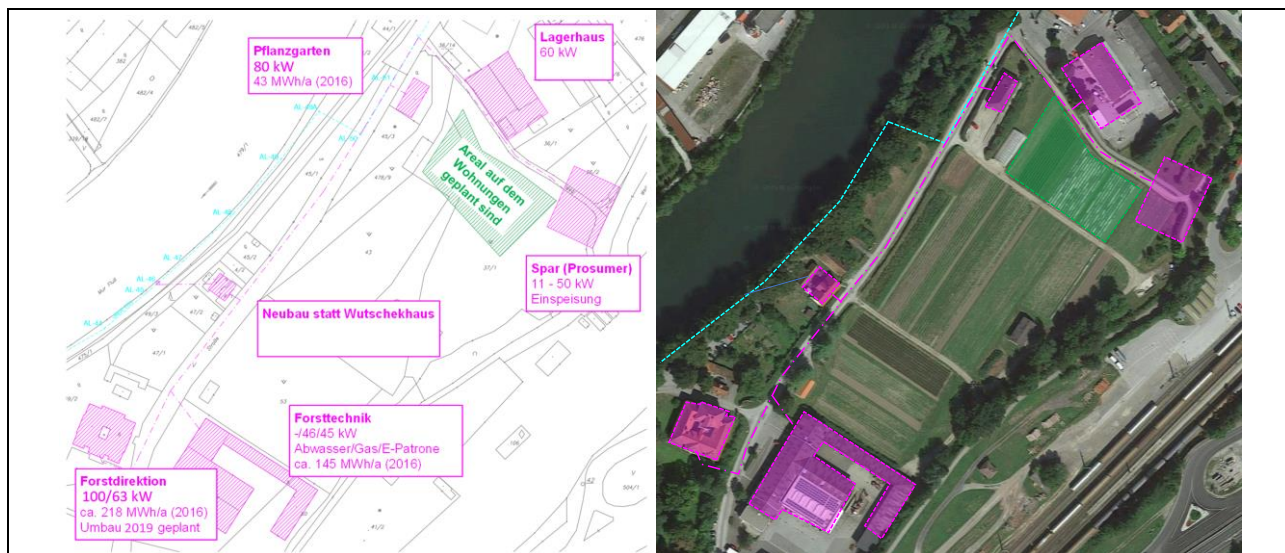


Abbildung 8: Detailansicht Untersuchungsgebiet 3 ⁷

⁶ <http://mapio.net>, aufgerufen am 19.06.2018

⁷ Aufnahme Untersuchungsgebiet 3 (bearbeitet durch Autor), Google©, Google Maps, 22.06.2018, www.google.com/maps

Neue Lagerhausfiliale Frohnleiten

Da der Standort der Lagerhaus Graz Land reg. Gen. mbH in Frohnleiten in die Jahre gekommen ist, werden alle Gebäude und technischen Anlagen neu errichtet. Im Zuge dessen werden die Verkaufs- und Lagerflächen erweitert, sowie die Tankstelle und Autowaschmöglichkeiten (automatisierte Waschstraße und Selbstbedienungswaschplätze) erneuert. Das neue Hauptgebäude wird eine Grundfläche von ca. 1.200 m² aufweisen. Der benötigte Wärmeanschluss beträgt ca. 60 kW.

Neue SPAR-Filiale Frohnleiten

Für den SPAR-Markt ist eine Verkaufsfläche von 600 m² vorgesehen. Als Hauptwärmequelle dient die Abwärme einer transkritischen CO₂-Kälteanlage, deren Abwärmeleistung etwa 60 kW beträgt. Über einen Plattenwärmetauscher wird das Heizwasser des sekundären Heizkreislaufs im Sommer und Winter auf ca. 33 °C erwärmt (VL-Temperatur). Die Rücklauftemperatur beträgt ca. 28 °C. Der Wärmebedarf des Supermarktes bei -13 °C Außentemperatur beträgt 49 kW. Somit ergibt sich eine Abwärmeüberschussleistung im Winter von 11 kW und im Sommer von 50 kW. Zur Spitzenlastabdeckung bzw. Ausfallssicherung soll ein Gaskessel installiert werden.

Pflanzgarten des MM-Forstbetriebes

Der Pflanzgarten des MM-Forstbetriebes in der Mayr-Melnhof-Straße 7 wird aktuell mit einem Gaskessel (80 kW) versorgt. Der Wärmebedarf im Jahr 2016 betrug ca. 43 MWh/a.

Neubau Bürogebäude

Das bestehende Gebäude „Wutschekhaus“ soll abgetragen und stattdessen ein Neubau errichtet werden. In diesen Neubau werden die Büroräumlichkeiten der „Die Frohnleitner, Gemeinnütziges steirisches Wohnungsunternehmen GesmbH“ untergebracht.

Produktionshallen der MM-Forsttechnik

Die Beheizung der Gebäude erfolgt über Fußbodenheizung, Radiatoren und Luftheizer. Die Wärmeversorgung erfolgt aktuell hauptsächlich mittels Gaskessel. Zusätzlich erfolgt bereits eine Nutzung der Abwasserwärme. Dazu wird Abwasser mit einer Temperatur von ca. 36 °C aus einem Sammelbecken entnommen und mittels Unterwasserpumpen über zwei Wärmetauscher mit einer Leistung von je 150 kW gefördert. An der Sekundärseite der Wärmetauscher wird das Heizwasser über Fernleitungen mit einer Vorlauftemperatur von 32 °C in das Verteilnetz des Gebäudes eingebracht.

Forstdirektion (Schloss Ruhefeld)

Schloss Ruhefeld liegt an der nördlichen Parkeinfahrt zum Schloss Neu-Pfannberg. Nach einigen Besitzerwechseln ging das Schloss schließlich 1872 in den Besitz der Familie Mayr-Melnhof über. Nach einer Modernisierung des Inneren im Jahre 1970 beherbergt es die Mayr-Melnhofsche Forsterverwaltung Frohnleiten.⁸

Die Beheizung des Gebäudes erfolgt mit einem Gaskessel, die Wärmeabgabe über Radiatoren. Das Gebäude soll grundlegend saniert werden. Die aktuelle Heizlast liegt bei 163 kW. Durch die Sanierung könnte die Heizlast sinken.

⁸ <http://www.burgen-austria.com>, aufgerufen am 19.06.2018

B.4.5.4 Untersuchungsgebiet 4

Das Untersuchungsgebiet 4 besteht aus zwei möglichen Einzelabnehmern, dem Schloss Neu-Pfannberg sowie dem sogenannten „Gartenhaus“. In Abbildung 9 ist die Lage der beiden Gebäude sowie eine mögliche Variante der Leitungsführung bei einer gemeinsamen Entnahmestation dargestellt.

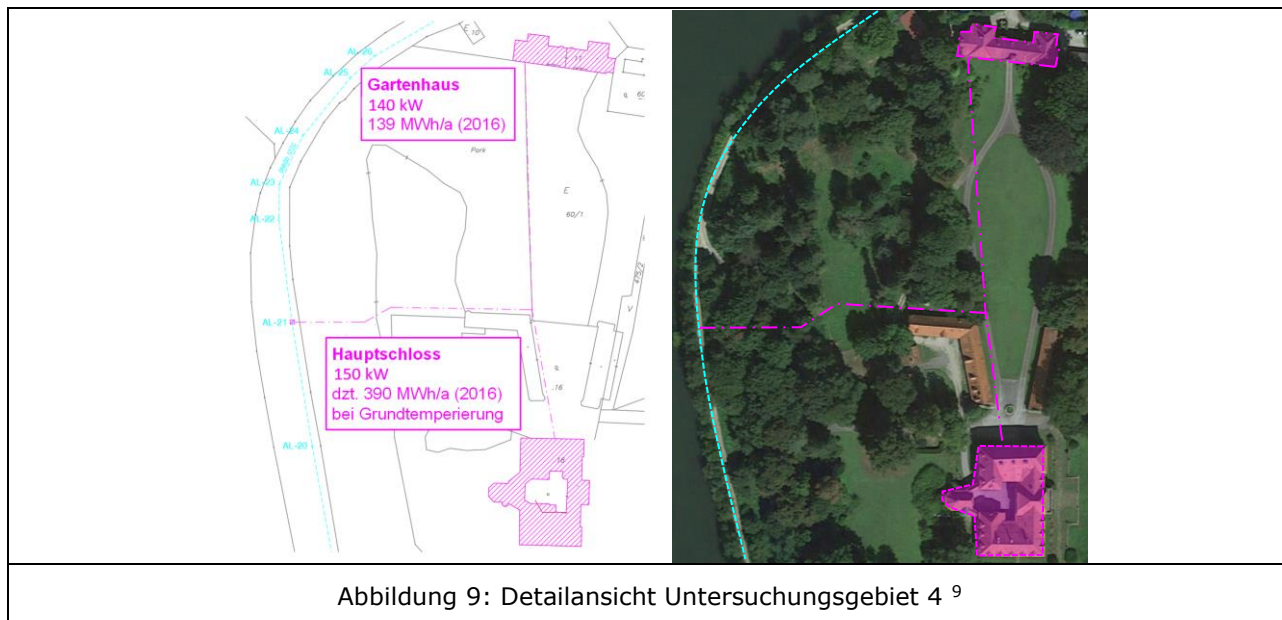


Abbildung 9: Detailansicht Untersuchungsgebiet 4 ⁹

Schloss Neu-Pfannberg

Das Schloss Neu-Pfannberg wird aktuell mit einer Hackgutkesselanlage mit einer Heizleistung von 150 kW versorgt. Der jährliche Heizwärmebedarf beträgt ca. 390 MWh.

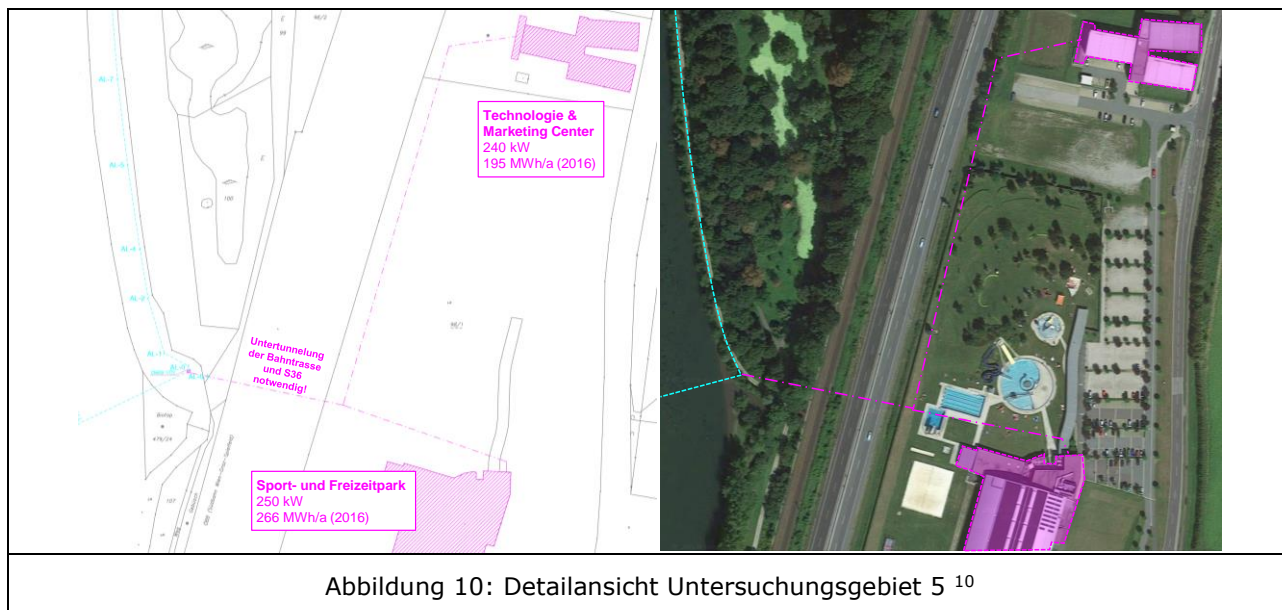
Gartenhaus

Das sogenannte Gartenhaus wird aktuell mit einem Gaskessel mit einer Heizleistung von 140 kW beheizt und beherbergt 7 Dienstwohnungen. Der Heizwärmebedarf betrug im Jahr 2016 ca. 140 MWh.

B.4.5.5 Untersuchungsgebiet 5

Das Untersuchungsgebiet 5 (siehe Abbildung 10) besteht aus zwei möglichen Einzelabnehmern, dem Technologie- und Marketingcenter (TMC) Frohnleiten sowie dem Sport- und Freizeitpark Frohnleiten. Diese beiden Gebäude sind allerdings sowohl durch die Bahntrasse der Eisenbahn als auch durch die Autobahn von der Abwasserleitung getrennt. Die Umsetzbarkeit ist also stark davon abhängig, ob ein Weg gefunden werden kann, mit dem Fernwärmeanschluss diese Hindernisse in der Nähe der beiden Abnehmer zu queren.

⁹ Aufnahme Untersuchungsgebiet 4 (bearbeitet durch Autor), Google©, Google Maps, 22.06.2018, www.google.com/maps



Technologie- und Marketingcenter (TMC) Frohnleiten

Das TMC - Technologie- und Marketing Center Frohnleiten wurde im Jahr 2000 erbaut und bietet als eines von 30 Impulszentren in der Steiermark Büroräumlichkeiten und Betriebsflächen für technologieorientierte Unternehmen, Dienstleister und Start-ups an. Das in Abbildung 11 dargestellte TMC steht im Besitz der Stadtgemeinde Frohnleiten und der Frohnleitner Gemeindebetriebe GmbH.¹¹



Abbildung 11: Technologie und Marketingcenter Frohnleiten¹¹

Beheizt wird das TMC aktuell mit einem Gasheizkessel aus dem Jahr 2001. Dessen Nennwärmeleistung beträgt 240 kW, der Heizwärmebedarf im Jahr 2016 belief sich auf ca. 195 MWh.

Sport- und Freizeitpark Frohnleiten

Der in Abbildung 12 dargestellte Sport und Freizeitpark in Frohnleiten besteht aus einem Erlebnisbad mit mehreren Becken, Rutschen und einer Liegefläche von mehr als 12 000 m² sowie einer im Winter genutzten Eishalle, die im Sommer für Sport-, Kultur- und Wirtschaftsveranstaltungen zur Verfügung steht. Des Weiteren befindet sich auf dem Areal ein Restaurant.

¹⁰ Aufnahme Untersuchungsgebiet 5 (bearbeitet durch Autor), Google©, Google Maps, 22.06.2018, www.google.com/maps

¹¹ <https://www.tmc-frohnleiten.at>, abgerufen am 19.06.2018



Abbildung 12: Sport und Freizeitpark Frohnleiten¹²

Beheizt wird das Gebäude mit einer 250 kW Gasbrennwertkessel aus dem Jahr 2004. Der Heizwärmebedarf betrug 2016 ca. 265 MWh.

B.5 Technologien

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den möglichen Technologien hinsichtlich einer Nutzbarmachung der Abwasserwärme. Dabei werden im speziellen die Art und Weise der Wärmeauskopplung zur Abwassernutzung für das gegenständliche Projektgebiet sowie weitere Komponenten zur Wärmeverteilung erörtert.

Primär unterscheiden sich Technologien zur Abwasserwärmenutzung hinsichtlich des Entnahmeortes des Abwassers in Wärmetauscher zur Energienutzung aus ungereinigtem Abwasser vor der Kläranlage und Wärmetauscher zur Energienutzung aus geklärtem Abwasser nach der Kläranlage.

In vorliegendem Fall steht zur Nutzung der Abwasserenergie geklärtes Prozesswasser nach einer Betriebskläranlage der Mayr-Melnhof Karton Gesellschaft mbH zur Verfügung. Der Industriebetrieb versteht sich als Indirekteinleiter, welcher Produktionsabwässer über eine eigene Kanalisation und Kläranlage in das örtliche Gewässer einleitet. Die Einleitung der Abwässer erfolgt nicht unmittelbar nach der Kläranlage, sondern 2,7 km (Luftlinie) südlich, wodurch eine Nutzung des Temperaturniveaus für umgebende Objekte realisierbar ist.

Die Nutzung des Abwassers im Ablauf der Kläranlage hat unter anderem den Vorteil, dass die Veränderung der Abwassertemperatur wesentlich geringeren Einschränkungen unterliegt, als jene im Zulauf der Kläranlage. Weiters steht für die Wärmenutzung bereits gereinigtes Abwasser zur Verfügung, welches zu einer wesentlich geringeren Verschmutzung von eingesetzten Wärmetauschern führt. Folglich ergeben sich im Vergleich zu einer Wärmenutzung von ungereinigtem Abwasser in Hinblick auf technische Anforderungen wesentliche Vorteile für Betrieb und Errichtung der Wärmenutzungsanlagen, da die Materialbeanspruchung durch das bereits gereinigte Abwasser wesentlich geringer ist. Trotz der Reinigung des Abwassers in der Kläranlage ist dieses nicht gleichzusetzen mit Reinwasser. Im Abwasser enthaltenen Mikroorganismen führen zu Verschmutzungen der Abwasserwärmetauscher. Die Bildung dieses Biofilms (Sielhaut) an den Oberflächen der Wärmetauscher führt zu einer Verschlechterung des Wärmeübergangs und damit zu einer Verringerung der Wärmetauscherleistung und muss entsprechend berücksichtigt werden.

Die aus dem Abwasser entzogene Wärme soll unter Verwendung von Wärmepumpen das für Raumheizung der Objekte und Warmwasserbereitung benötigte Temperaturniveau bereitstellen. Aus Sicht der Wärmepumpen ist es unerheblich ob die Energienutzung vor oder nach der

¹² <http://www.frohnleiten-kq.at>, abgerufen am 19.06.2018

Kläranlage stattfindet, da diese in jedem Fall über einen Zwischenkreis vom Abwasser getrennt ausgeführt ist.

Im Wesentlichen besteht die Abwasserenergienutzungsanlage (je nach Wärmetauscherart) aus folgenden Komponenten:

- Entnahmebauwerk (bei externen Wärmetauschern)
- Wärmetauscher
- Wärmeverteilung
- Wärmepumpe

B.5.1 Wärmetauscherbauarten

Zur Erschließung der Abwärme aus dem Abwasserkanal gibt es grundsätzlich zwei Varianten, welche sich aufgrund der Lage der Wärmenutzungsanlage (Wärmetauscher) unterscheiden.

Der Wärmetauscherkörper kann entweder direkt in der Sohle des Abwasserkanals eingebettet werden (Kanalwärmetauscher) oder alternativ das Abwasser aus dem Kanal geleitet und einem externen Wärmetauscher zugeführt werden.

B.5.1.1 Kanalwärmetauscher

Einschubwärmetauscher

Einschubwärmetauscher sind modulare Kanalwärmetauscher und geeignet für einen nachträglichen Einbau in Bestandskanäle. Die Einbringung und Montage erfolgt über die Schachtinfrastuktur (Anforderungen an Schachtabstände). Die Wärmetauscherelemente werden als Einzelsegmente an der Kanalsohle eingebracht, hydraulisch aneinandergesetzt und vom Abwasser überströmt. Das System ist grundsätzlich wartungsfrei. Aufgrund der Einbausituation der Tauscherelemente im Kanal werden keine zusätzlichen Flächen bzw. baulichen Anlagen zur Aufstellung von Wärmetauschern benötigt.

Die Einflüsse einer Biofilmbildung (Verringerung der Wärmetauscherleistung um 20 bis 50 %) müssen bei der Dimensionierung der Wärmetauscherflächen berücksichtigt werden.

Als Stand der Technik hinsichtlich der Abreinigung der Sielhaut werden gegenwertig folgenden Strategien angewendet:

- Großzügigere Dimensionierung der Wärmetauscherflächen mit Berücksichtigung einer Biofilmbildung und Verzicht auf periodische Reinigung.
- Periodische Kanalabschnittreinigung.
- Bei starker Verschmutzung: Installation von automatischen Schwallspülsysteme.

Der in Abbildung 13 dargestellte Abwasserwärmetauscher der Uhrig Kanaltechnik GmbH ist ein doppelschaliger Druckbehälter aus Edelstahl. Die Wärmetauscheroberfläche wird vollflächig vom warmen Abwasser überströmt. Der Wärmetauscher selbst wird von einer Kühlflüssigkeit, in der Regel Wasser, durchströmt. Dem warmen Abwasser wird so Energie entzogen.



Abbildung 13: Kanalwärmetersysteme zur Abwasserwärmenutzung in Bestandskanälen Therm-Liner (Uhrig Kanaltechnik GmbH) und TubeWin (Huber SE)^{13 14 15}

Vorgefertigte Kanalelemente mit integrierten Wärmetauschern

Eine weitere Variante der Kanalwärmetersysteme stellen vorgefertigte Kanalelemente mit darin integrierten Wärmetauscherrohren dar. Im Wesentlichen unterscheiden diese sich von dem zuvor angeführten System im Anwendungsfall. Vorgefertigte Elemente kommen bei Kanalneubauten bzw. Austausch bestehender Kanalisationen zum Einsatz. Die Wärmetauscherrohre werden bei dieser Variante direkt in das Kanalprofil eingebettet. Die Elemente sind je nach Herstellungsart unterschiedlich ausgeführt. Die Wärmetauscher werden entweder als monolithisch eingegossene Wärmetauscherrohre (siehe Abbildung 14 – rechts, Rabtherm AG) oder als doppelschaliger Druckbehälter (siehe Abbildung 14 – links, Uhrig Kanaltechnik GmbH) ausgeführt.



Abbildung 14: Vorgefertigte Kanalelemente mit integrierten Wärmetauschern links: Uhrig Kanalbau GmbH¹⁶, rechts: Rabtherm AG¹⁷

¹³ <https://www.uhrig-bau.eu/de/energie-aus-abwasser/uhrig-produkt-therm-liner/>

¹⁴ [http://www.riolabc.com/image/data/Therm-Liner/P1040953%20\(Small\).JPG](http://www.riolabc.com/image/data/Therm-Liner/P1040953%20(Small).JPG)

¹⁵ https://www.huber.de/fileadmin/_processed_/a/b/csm_bild_tubewin_03_bb2a3771bd.jpg

¹⁶ <https://www.uhrig-bau.eu/de/energie-aus-abwasser/uhrig-produkt-therm-liner/>

¹⁷ <https://blog.paradigma.de/wp-content/uploads/2014/05/rohrquerschnitte-rabtherm-waerme-aus-abwasser.jpg>

Eine weitere Variante vorgefertigter Kanalelemente wird von der Firma Frank GmbH hergestellt. Dabei werden die Wärmetauscherrohre am Außenmantel des aus Polyethylen bestehenden Kanalrohrs angebracht. Die Konstruktion nutzt das standardmäßig vorhandene Stützrohr des Außenmantels für den Wärmeentzug (siehe Abbildung 15).

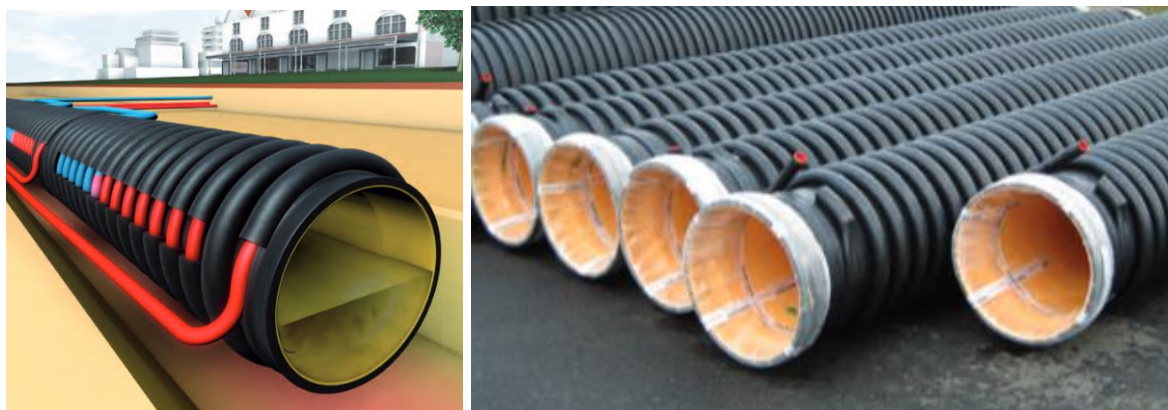


Abbildung 15: Kanalrohrwärmetauscher der Firma Frank GmbH ¹⁸

B.5.1.2 Externe Abwasserwärmetauscher

Eine weitere Möglichkeit die im Abwasser enthaltene Energie nutzbar zu machen, stellen externe Wärmetauscher dar. Dabei wird aus dem Abwasserkanal ein Teilstrom des Abwassers entnommen und einem Entnahmebauwerk zugeführt. Das Entnahmebauwerk verfügt über eine Siebanlage, welche für den Rückhalt von Grobstoffen im Abwasser sorgt. Eine Pumpe im Entnahmebauwerk transportiert das gesiebte Abwasser zu dem extern errichteten Wärmetauscher, wo die Erwärmung des Sekundärkreises erfolgt. Das Abwasser wird nach der Nutzung wieder in den Abwasserkanal zurückgeführt.

Externe Wärmetauscher verfügen für gewöhnlich über Reinigungseinrichtungen, welche die Wärmetauscheroberfläche von Ablagerungen (Biofilm) reinigen. Die dabei entstehenden Feststoffe werden je nach Bauart über Austragungssysteme wieder dem Abwasserstrom zugeführt.

Der wesentliche Vorteil dieser Variante besteht darin, dass Eingriffe in den Kanal minimal gehalten werden und Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten keine Wasserrückhaltmaßnahmen im Kanal erfordern. Nachteilig zu bewerten ist der zusätzliche bauliche Aufwand für die Errichtung des Entnahmebauwerks, der Platzbedarf für die Aufstellung der Wärmetauscheinheit sowie zusätzlich erforderliche, mechanisch bewegliche Komponenten zur Förderung des Abwassers und der Ablagerungen.

Huber SE - System ThermWin

In Abbildung 16 und Abbildung 17 sind die wesentlichen Komponenten des Systems ThermWin abgebildet.

¹⁸ https://www.frank-gmbh.de/de-wAssets/docs/download/download-deutsch/abwasser/uebersicht_abwasser_umwelt_deutsch_mail.pdf

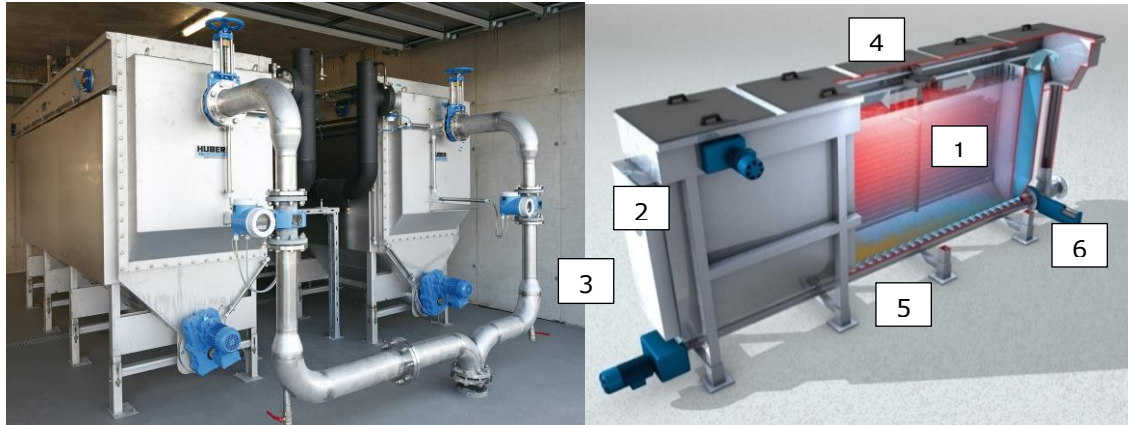


Abbildung 16: Externer Abwasserwärmtauscher mit automatischer Abreinigung der Wärmetauschoberflächen der Firma Huber SE ^{19 20}

- | | |
|------------------------|-----------------------------------|
| (1) Wärmetauscherrohre | (4) mechanische Reinigungseinheit |
| (2) Kühlwasserzufluss | (5) Austragungsschnecke |
| (3) Abwasserzufluss | (6) Abwasser- und Sedimentaustrag |

Die Durchströmung des Wärmetauschers mit Abwasser erfolgt bei dem System ThermWin im Freispiegel ohne Druckleitung. Das Kühlmedium wird in Rohrschlangen geführt und entzieht dem Abwasser Wärme. In regelmäßigen Zeitabständen werden Manschetten über die Rohrleitungen geführt, wodurch die Sielhautbildung vermieden wird. Die Ablagerungen werden durch eine Förderschnecke im unteren Bereich des Wärmtauschers ausgetragen.

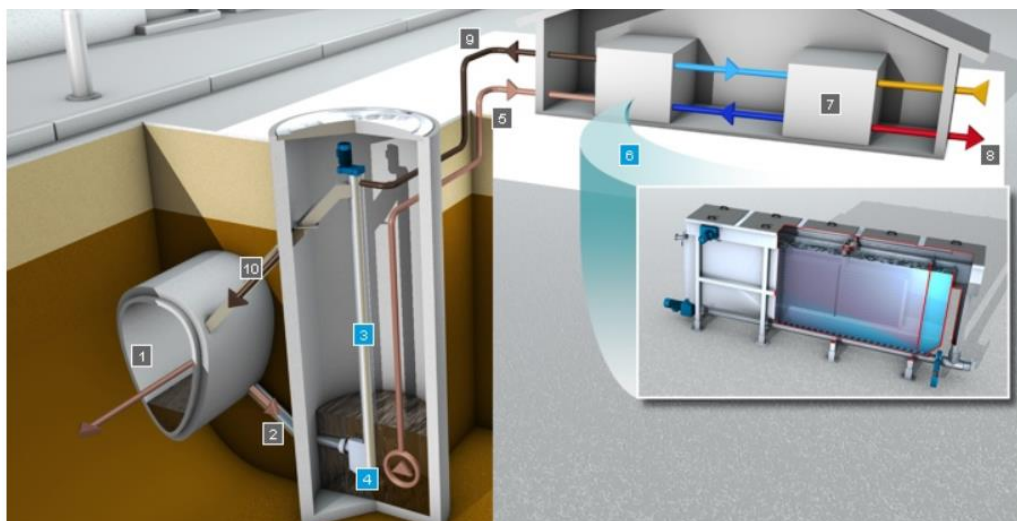


Abbildung 17: Abwasserwärmerückgewinnungssystem ThermWin mit Entnahmebauwerk ²¹

- | | |
|---------------------------------------|---|
| (1) Abwasserkanal | (6) Abwasserwärmetauscher |
| (2) Abwasserablauf zu Entnahmebauwerk | (7) Wärmepumpe |
| (3) Siebanlage | (8) Heizungswasser |
| (4) Siebkorb | (9) Abwasserrücklauf |
| (5) vorgesiebtetes Abwasser | (10) Abwasser und Siebgutrückführung in Kanal |

¹⁹ https://www.huber.de/fileadmin/_processed_/e/7/csm_bild_rowin_07_be17d76666.jpg

²⁰ https://www.huber.de/fileadmin/01_products/11_energy_from_ww/11_rowin/skizze_rowin_01.jpg

²¹ https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Veranstaltungen/Präsentationen/2015/151119_Nutzung_von_Abwasserwaerme/Schmausser.pdf

Fercher Filmstromwärmetauscher FB

Abbildung 18 zeigt eine weitere Art eines externen Wärmetauschers nach dem Freistromprinzip der Firma Fercher GmbH. Dabei fließt das Abwasser in Form eines dünnen turbulenten, frei fließenden Oberflächenstroms drucklos über die übereinander angeordneten Wärmetauscherplatten. Eine automatische Reinigungsmöglichkeit ist hierbei nicht vorgesehen. Diese muss im Bedarfsfall manuell durchgeführt werden.

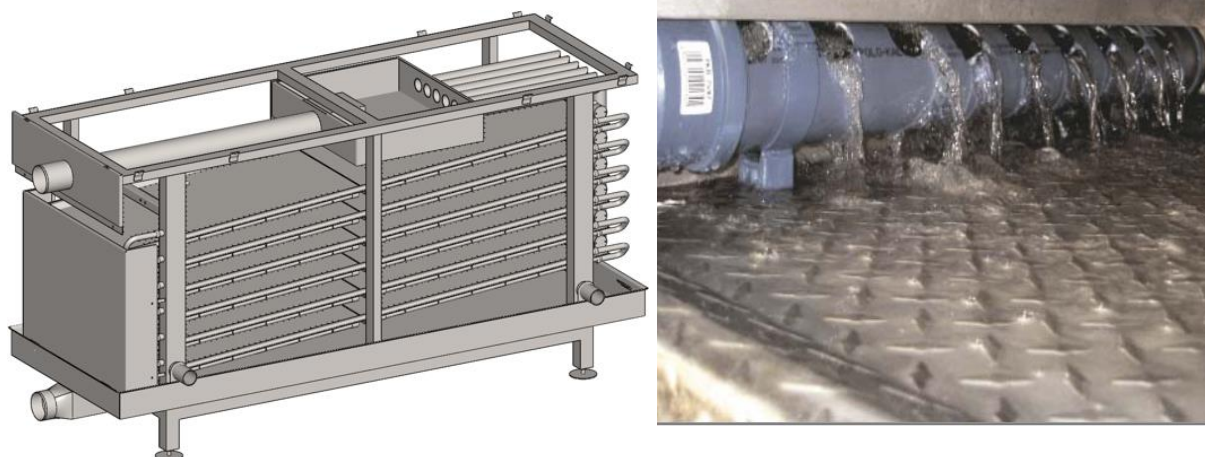


Abbildung 18: Freistromabwasserwärmetauscher und Verteileinrichtung der Fercher GmbH ²²

Jaske & Wolf – Selbstreinigender Rohrbündelwärmtauscher Dupur

Eine weitere Bauweise selbstreinigender externer Wärmtauscher ist in Abbildung 19 abgebildet. Im Unterschied zu der zuvor angeführten Bauweise wird hierbei ein Rohrbündelwärmetauscher im Gegenstromprinzip zur Wärmerückgewinnung eingesetzt. Das Abwasser fließt dabei nicht im Freistromprinzip um die Wärmetauscherrohre, sondern wird direkt im Mantel des Rohrbündelwärmetauschers in entgegengesetzter Richtung zum Wärmeträgermedium geführt.

Die Reinigung der Rohrleitungen von Ablagerungen erfolgt mit sogenannten Molchen. Diese Kunststoffelemente werden mittels hydraulischer Pumpenschaltung (Molchventil – für Reinigung im laufenden Betrieb) durch die schmutzwasserführenden Leitungen gedrückt und dadurch die Rohrwände von den Ablagerungen befreit.



Abbildung 19: Abwasserwärmtauscher mit Reinigungsmolchen der Firma Jaske und Wolf ^{23 24}

²² https://www.fercher.at/de/abwasser_schmutzwasser_waermetauscher.html

²³ https://www.dbu.de/inc/phpThumb/phpThumb.php?src=/wdu_sys/media/201011122202_794053.jpg&w=700

²⁴ https://www.dbu.de/inc/phpThumb/phpThumb.php?src=/wdu_sys/media/201011122640_881741.jpg&w=700

Feka Sammelschacht Wärmetauscher

Bei diesem System der Firma Feka fließt das Abwasser durch einen Filter in einen außerhalb des Kanals angeordneten Abwasserschacht. Der Filter hält im Abwasser enthaltene Schmutzstoffe zurück. Diese werden im Intervall mit einer Pumpe in die Kanalisation gefördert. Das abgekühlte Abwasser fließt über das Standrohr die Kanalisation. Rund um den Abwasserfilter befindet sich ein mit Wärmeträgermedium gefüllter spiralförmig angeordneter Wärmetauscher, welcher dem Abwasser Wärme entzieht.

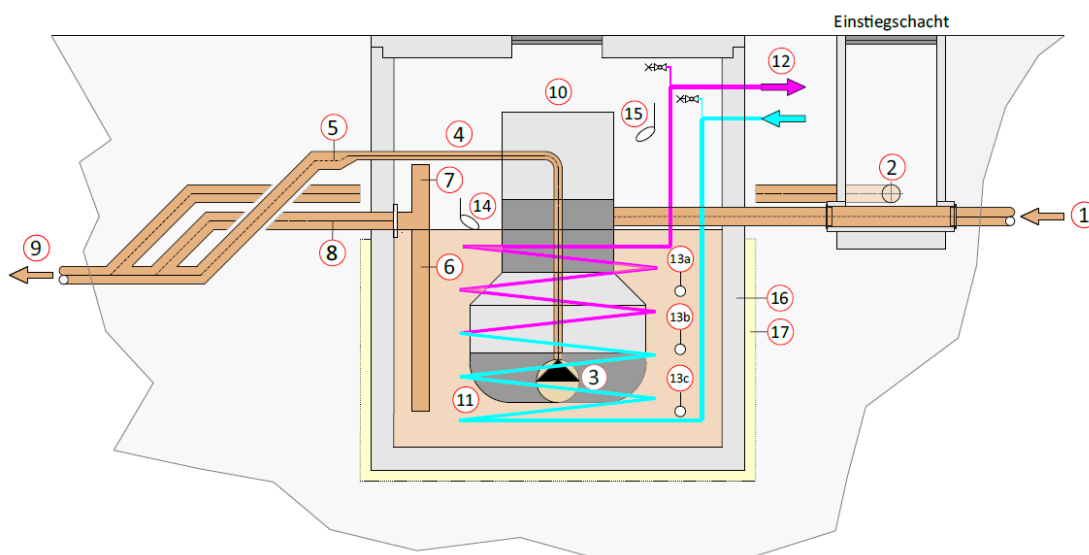


Abbildung 20: Feka Sammelschacht Wärmetauscher mit Filter im Abwasserschacht ²⁵

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| (1) Zulauf Abwasser | (10) Abwasserfilter |
| (2) Überlaufleitung | (11) Wärmetauscher |
| (3) Spülpumpe | (12) Wärmeträgermedium |
| (4) Pumpendruckleitung | (13) Temperaturfühler |
| (5) Übergang auf natürliches Gefälle | (14) Pegelmesser |
| (6) Standrohr | (15) Pegelmesser |
| (7) Be- und Entlüftung | (16) Schacht |
| (8) Auslauf | (17) Dämmung bei Grundwasser |
| (9) Abwasser zu Kanal | |

B.5.1.3 Rahmenbedingungen einzelner Wärmetauschersysteme

Die in Kapitel B.5.1 erwähnten Systeme eignen sich grundsätzlich alle für die Energiegewinnung aus Abwasser. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten ist für jedes Objekt innerhalb des Projektgebietes das entsprechende System zu evaluieren. Die objektspezifische Konzeptdarstellung findet in Kapitel B.8 statt.

Kanalwärmetauscher stellen die am häufigsten verwendeten Technologien bei Wärmetauschersystemen zur Abwassernutzung dar. Sie werden dann eingesetzt, wenn Abwasserkanäle nicht ersetzt werden müssen. Vorgefertigte Wärmetauscher, wie in 0 angeführt, kommen dann zum Einsatz, wenn Kanäle ersetzt oder Gebiete neu erschlossen werden. Grundsätzlich sind Kanalwärmetauscher abhängig von der Kanalinfrastruktur (Dimension, Abflusskapazität, Leitungsverlauf, Schachtinfrastruktur etc.).

Systeme mit externen Wärmetauschern laut Kapitel B.5.1.2 sind verglichen mit Kanalwärmetauschern unabhängiger vom Kanalsystem, da diese außerhalb errichtet werden.

²⁵ http://www.feka.ch/pdf/FEKA_Energie_aus_Abwasser.pdf

Während Eingriffe in das Kanalsystem nur gering sind, ist aber ein hoher baulicher Aufwand hinsichtlich der Aufstellung der technologischen Komponenten und der Erschließung des Abwassers verbunden. Daher sind externe Wärmetauscher aus Kostengründen für kleine Objekte weniger geeignet. Die wesentlichsten Vor- und Nachteile beider Varianten sind nachfolgend dargestellt.

Tabelle 1: Wesentliche Eigenschaften verschiedener Wärmetauschersysteme zur Abwasserwärmenutzung

Kanalwärmetauscher		Externe Abwasserwärmetauscher	
Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile
Keine bewegten mechanischen Teile und damit kein Energieverbrauch für die Förderung des Abwassers	Wasserhaltungsmaßnahmen bei Montage	Keine Wasserhaltungsmaßnahmen für Montage	zusätzliche Komponenten für Abwasserförderung
Geringerer Wartungsaufwand durch fehlende bewegte Teile	Erschwerte Wartungsbedingungen aufgrund des Einbauortes	Einfachere Wartung, Reinigung, Reparatur durch externe Aufstellung	zusätzlicher Energieverbrauch durch bewegte Teile für Transport und Reinigung
Keine zusätzlichen mechanischen Einrichtung-en (Filter, Entsorgungssysteme)	Zusätzlicher Genehmigungsaufwand für Kanaleinbauten	Keine Querschnittsverengung des Kanals	zusätzliche bauliche Maßnahmen für Entnahmeschacht
Kein zusätzlicher Platzbedarf in Gebäuden	Verringerung der max. Abflusskapazität durch Querschnittsverengung	kürzere Wiederinbetriebnahmezeiten nach Störungen	großer Platzbedarf für Wärmetauscher
	Verringerung der Wärmetauscherleistung durch Sielhautbildung		

B.5.1.4 Verschmutzung der Wärmetauscherflächen

Mikroorganismen verwenden im Abwasser enthaltene Nährstoffe für ihr Wachstum und ihren Energiehaushalt. Sie siedeln sich in einem wässrigen Medium auf jeder festen Oberfläche an, also auch auf einem Wärmetauscher. Dazu produzieren sie auf ihrer Außenhaut fadenförmige Moleküle, mit denen sie sich auf der Oberfläche verankern. Diese bilden ein netzartiges Geflecht, eine sogenannte Biofilmmatrix. Sind im Wasser genügend Nährstoffe vorhanden, können die Mikroorganismenkolonien mehrere Millimeter dicke Biofilme (Sielhaut) bilden. Biofilme können den Wärmedurchgang vom Abwasser in den Wärmetauscher und damit dessen Leistung merklich verringern. Zusätzlich führen Feststoffe ebenfalls zu Ablagerungen auf der Wärmetauscheroberfläche.

Diese Sielhaut wird nicht nur von den Abwasserinhaltsstoffen, sondern auch stark vom zeitlichen Verlauf und der Charakteristik des Abflusses beeinflusst. In Zeiten mit geringen Abflussmengen setzen sich die Feststoffe an die Kanalsole ab, während diese bei wieder auftretenden größeren Abflussmengen weggetragen werden. Die Sielhautbildung und Leistungsbeeinflussung (insbesondere bei Kanalwärmetauschern) ist maßgeblich abhängig von der lokalen Fließgeschwindigkeit und den Inhaltsstoffen des Abwassers.²⁶

Dieser Vorgang muss vor allem bei Kanalwärmetauschern berücksichtigt werden, da diese kontinuierlich vom Abwasser überströmt werden und über keine mechanischen Reinigungseinrichtungen verfügen. Hierbei läuft die Verschmutzung des Wärmetauschers so ab, dass zu allererst sich einzelne Mikroorganismen an der Oberfläche ansiedeln, wachsen und

²⁶ Wanner, O. (2009). Wärmerückgewinnung aus Abwasser. Schriftenreihe der Eawag Nr. 19.

daraus eine sehr stabile Biofilmmatrix bilden, welche als Sieb fungieren und in dem feine organische und anorganische Feststoffe anhaften.²⁶

Die Biofilmmatrix führt zu einer Verminderung der Leistungsfähigkeit (Verringerung des Wärmedurchgangs) und Beeinträchtigung der Anlage. Die Reduktion der Wärmetauscherleistung kann bis zu 50 % betragen. Damit verbunden ergibt sich die Anforderung nach einer kontinuierlichen oder zyklischen Reinigung der mit Abwasser in Kontakt kommenden Wärmetauscherflächen.

Im Hinblick auf präventive Maßnahmen werden bei externen Wärmetauschern automatische mechanische Reinigungssysteme in Verbindung mit einer Vorfilterung des Abwasserteilstromes eingesetzt, während bei Kanalwärmetauschern ein gewisser Verschmutzungsanteil in Kauf genommen und mit zusätzlichen Wärmetauscherflächen ausgeglichen wird. Diese bewusste Überdimensionierung stellt sicher, dass die benötigte Wärmeleistung trotz Verschmutzung erbracht werden kann. Bei sehr hohen Verschmutzungsgraden kann die Möglichkeit der Hochdruckspülung im Zuge des normalen Reinigungszyklus durchgeführt werden

Neben einer möglichst kontinuierlichen Beschickung (kurze Stillstandszeiten) und moderaten Strömungsgeschwindigkeit mit entsprechender Turbulenz kann das Biofilmwachstum wirkungsvoll begrenzt werden (Verhinderung von Totwasserzonen).

B.5.1.5 Rechtliche Rahmenbedingungen

Zentraler Aspekt für die Errichtung von Abwasserwärmenutzungsanlagen ist die wasserrechtliche Bewilligung. Gesetzliche Grundlage für die Bewilligungspflicht bildet das österreichische Wasserrechtsgesetz.

Für Anlagen nach Kläranlagen gilt die Bewilligungspflicht aufgrund des Einwirkens ionisierender Strahlung oder Temperaturänderung auf Gewässer.

Weiters ist ein Nutzungsvertrag zwischen Kanal- sowie Kläranlagenbetreiber und Errichter der Nutzungsanlage zu definieren.

B.5.2 Versorgungsnetz/Energieverteilung

Prinzipiell bestehen zwei Möglichkeiten, die Wärmeversorgung mittels Abwasserwärme zu gestalten, in Form eines „kalten“ oder „warmen“ Verteilnetzes (siehe Abbildung 21).

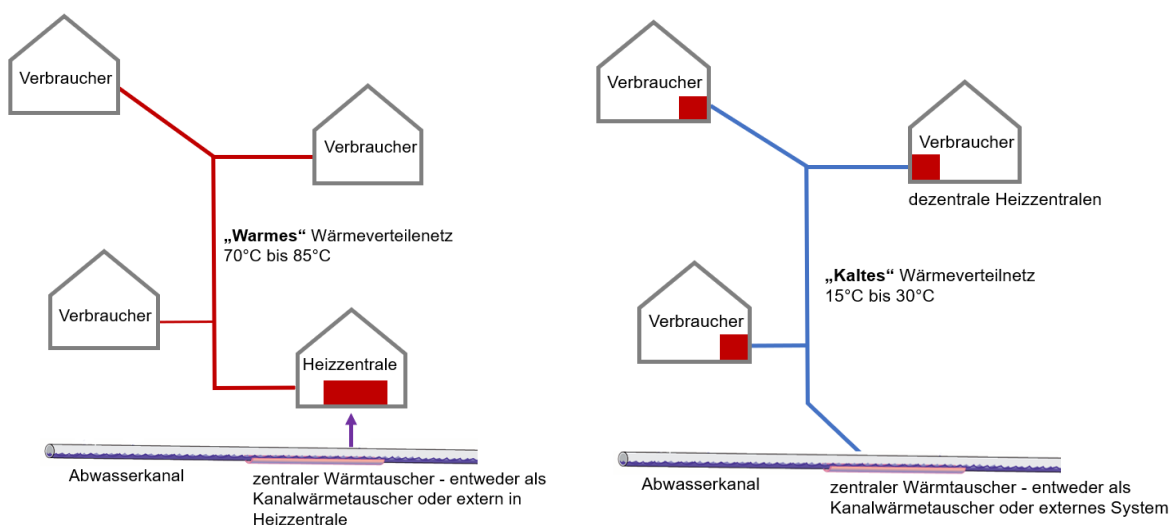


Abbildung 21: Prinzipschema "warmes" und "kaltes" Wärmeverteilnetz

Bei dem System des **kalten Netzes** ist ein zentraler Abwasserwärmetauscher vorhanden. Die aus dem Abwasser gewonnenen Energie wird auf niedrigem Temperaturniveau in das Verteilnetz eingespeist und zu den Verbrauchern transportiert. Dezentrale, bei den versorgten Objekten errichtete Wärmepumpen, sorgen für das notwendige Temperaturniveau. Aufgrund des geringen Temperaturniveaus im Verteilnetz verringern sich die Wärmeverluste im Vergleich zu einem herkömmlichen (warmen) Verteilnetz, sodass abhängig von der Quelltemperatur auf eine Wärmedämmung der Verteilleitungen verzichtet werden kann. Dadurch können die Kosten des Wärmeverteilsnetzes gesenkt werden. Durch die dezentrale Anordnung der Wärmepumpenanlagen können individuelle Temperaturniveaus je nach Bedarf der Verbraucher erzeugt werden. Dies führt zu einer effizienten Energiebereitstellung der Wärmepumpen.

Als Nachteil sind höhere Investitionskosten für die einzelnen dezentralen Wärmepumpenanlagen beim Abnehmer zu nennen. Durch die dezentrale Anordnung der Heizungsanlagen kann eine Gleichzeitigkeit nicht berücksichtigt werden, wodurch die Leistungen der Wärmepumpen auf die maximalen Wärmeanforderungen ausgelegt werden müssen. Einen weiteren Nachteil stellt der Umstand dar, dass durch die geringe Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf größerer Volumenströme als bei herkömmlichen warmen Systemen erforderlich sind. Folglich kommt es zu einem höheren Strombedarf für die Umwälzpumpen und zu größeren Rohrleitungsquerschnitten.

Das **warme Netz** charakterisiert sich dadurch, dass sowohl Abwasserwärmetauscher als auch Wärmepumpen in einer Heizzentrale an einem zentralen Punkt des Verteilnetzes untergebracht sind. Die in das Netz eingespeiste Temperatur entspricht jener von der Wärmepumpenanlage erzeugten Temperatur. Für die Wärmeverteilung zu den einzelnen Abnehmern werden flexible vorisolierte Kunststoffrohre eingesetzt. Des Weiteren sorgt eine Systemtrennung in Form von Wärmeübergabestationen für eine hydraulische Trennung zwischen dem Wärmenetz und dem Wärmeabnehmer. Systembedingt ergeben sich durch die indirekte Einbindung der Abnehmer Wärme- und Temperaturverluste durch die Grädigkeit der Wärmetauscher.

Der wesentliche Vorteil dieses Systems ist, dass nur eine Heizzentrale (Wärmetauscher, Wärmepumpen, Pufferspeicher, Anlagenhydraulik) erforderlich ist. Weiters kann die Anlage im Vergleich zur Summe der dezentralen Heizungsanlagen kleiner dimensioniert werden. Kombinationen aus Wärmepumpen, Pufferspeicher und Photovoltaikanlagen erlauben eine zusätzliche Verringerung des Netzstrombedarfes durch Zwischenspeichern und zeitversetztes Abgeben der mit Überschussstrom produzierten Wärmeenergie. Größter Nachteil dieser Variante ist die hohe Vorlauftemperatur des Verteilnetzes, welche sich nach dem ungünstigsten Verbraucher im Wärmenetz richtet und dadurch die Systemeffizienz verschlechtert und zu höheren Wärmeverlusten führt.

B.5.3 Wärmeezeugung

Ein ökologisch und ökonomisch sinnvoller Betrieb von Wärmepumpen ist dann gegeben, wenn ein möglichst hohes Temperaturniveau der Wärmequelle und ein möglichst niedriges Temperaturniveau der Wärmesenke gegeben ist. Speziell im Hinblick auf die Abwasserwärmenutzung liegen je nach Abwasserbeschaffenheit hohe Quelltemperaturen und damit gute Grundvoraussetzungen für einen effizienten Wärmepumpenbetrieb vor.

Abhängig von den thermischen Voraussetzungen und Anforderungen der Wärmesenke (Wärmeabnehmer) können wesentlich höhere Leistungszahlen im Vergleich zur Verwendung herkömmlicher Wärmequellen erreicht werden. Dieser Umstand kann aus nachfolgender Abbildung 22 entnommen werden. So weißt eine Wärmepumpe bei einer Primäreintrittstemperatur von 5°C und einer Heizungsvorlauftemperatur von 55°C einen COP

von 3,2 auf, während bei einer Primärtemperatur von 25°C bei der gleichen Sekundärtemperatur ein COP von 5,5 möglich ist.

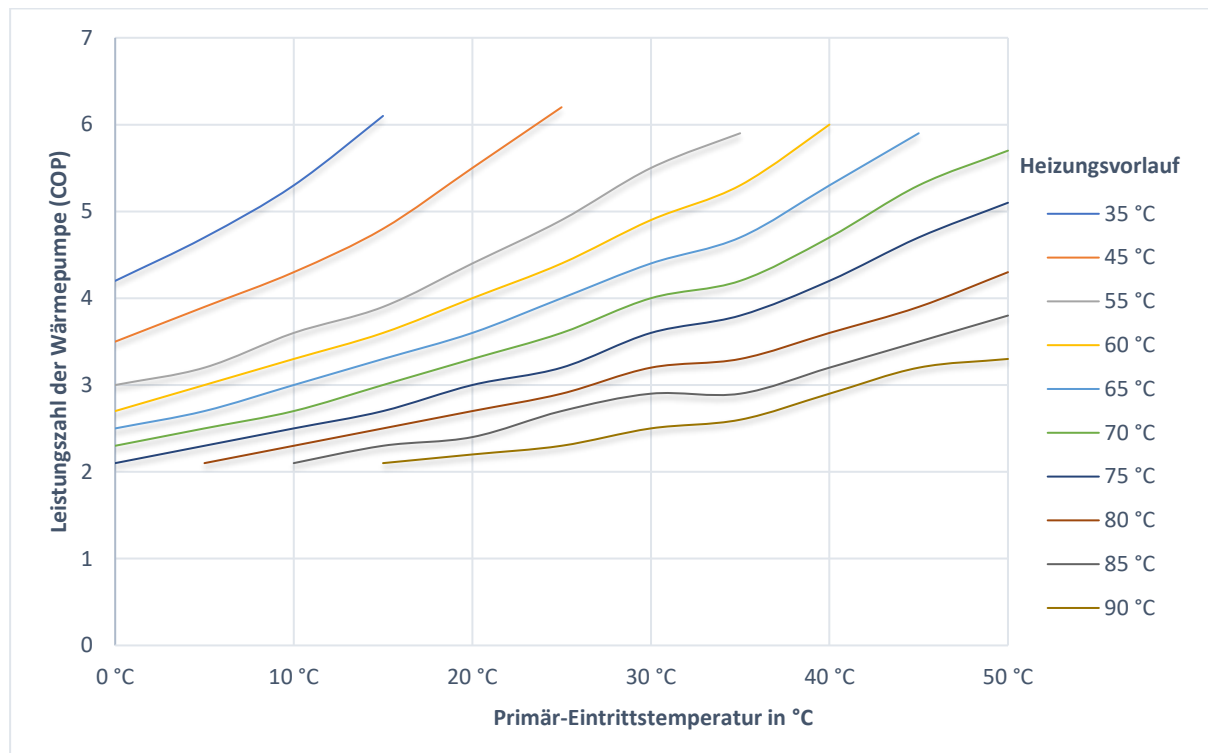


Abbildung 22: Leistungszahl und Einfluss der Wärmquellentemperatur

Die Anlagenauslegung der Wärmepumpe erfolgt unter Berücksichtigung der vorhandenen Wärmquellentemperatur. Dabei sind die Tagesabflussganglinie und die Temperaturen des Abwasserstroms zu berücksichtigen.

Zur Sicherstellung des Anlagenbetriebes sowie zur optimierten Auslegung der Wärmequelle kann die Wärmepumpenanlage im bivalenten Betrieb mit einem Spitzenlastwärmeerzeuger zum Einsatz kommen. Ein zusätzlicher Wärmeerzeuger führt neben einer Erhöhung der Versorgungssicherheit zu einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage durch eine optimierte Auslegung der Wärmequellenanlage.

Zum Schutz der Wärmepumpenanlage werden wärmequellenseitig Wärmetauscher als Systemtrennung eingesetzt. Dadurch besteht die Möglichkeit für den Einsatz herkömmlicher Elektrowärmepumpen.

Für den vorliegenden Fall sollen Wasser/Wasser-Wärmepumpen die Grundlastherzeugung gewährleisten, während Gaskesselanlage als Backup bzw. Spitzenlastkessel das System komplettieren.

Bei den Wärmeabnehmern im Projektgebiet handelt es sich zum größten Teil um Bestandsanlagen, welche hohe Systemtemperaturen zur Deckung der Wärmeverluste erfordern. Entsprechend hohe Vorlauftemperaturen müssen von der Wärmepumpenanlage geliefert werden, unabhängig davon ob es sich um ein kaltes oder warmes Verteilnetz handelt.

Maßgebliche Anforderungen zur Erreichung hoher Betriebstemperaturen auf der Sekundärseite werden an das Kältemittel der Wärmepumpen gestellt. Neben der technischen Eignung des Kältemittels für hohe Systemtemperaturen ist die Umweltverträglichkeit ein weiterer Punkt, welcher Berücksichtigung bei der Auswahl der Wärmepumpe erfordert. Zukunftssichere

Wärmepumpen verfügen über Kältemittel mit geringem Treibhauspotenzial (Global Warming Potential - GWP). Folgende Wärmepumpen-Kältemittel kommen in Frage:

R744 (CO₂):

Kohlendioxid (CO₂) ist aus ökologischer und sicherheitstechnischer Sicht ein nahezu ideales Kältemittel. Es ist weder giftig noch brennbar, besitzt kein Ozonabbaupotential (Ozone Depletion Potential (ODP) = 0, Global Warming Potential GWP = 1), ist chemisch inaktiv (materialverträglich) sowie kostengünstig. Nachteilig für den Einsatz sind die erforderlichen hohen Drücke (kritischer Punkt bei 31,1 °C und 73,8 bar), die besondere Anforderungen an die technischen Komponenten wie Verdichter und Wärmeübertrager stellen. Andererseits erlaubt die sehr hohe volumetrische Kälteleistung einen sehr geringen Volumenstrom, der kleine Rohrquerschnitte und eine kompakte Bauweise ermöglicht.

R1234ze

Das Kältemittel R1234ze ist ein schwer entzündbares Kältemittel und besitzt ein GWP von 1. R1234ze ist ein HFO (Hydrofluorolefin) Kältemittel. Es ist nach ISO/ASHRAE in die Sicherheitsklasse A2L (schwer entzündbar) eingestuft und ermöglicht daher deutlich höhere Füllmengen als andere, leichter entzündbare Kältemittel. Entsprechend dieser Einstufung sind zusätzliche Sicherheitsvorschriften für die Aufstellung von Wärmepumpen mit diesem Kältemittel zu berücksichtigen.

R717 (Ammoniak NH₃):

Ammoniak hat den geringsten TEWI (Total Equivalent Warming Impact = direkter Treibhauseffekt des Kältemittels, sowie indirekter Treibhauseffekt durch den Energieverbrauch der Anlage). Das Ozonabbaupotential (ODP) von Ammoniak beträgt 0. Damit gilt Ammoniak als verhältnismäßig umweltfreundlich. NH₃ besitzt die größte Kälteleistung je kg Kältemittel. Dieser Umstand sorgt dafür, dass NH₃-Kälteanlagen im Vergleich zu anderen Kältemitteln hohe COP Werte erreichen können. Hinzu kommt, dass NH₃ im Vergleich zu allen anderen Kältemitteln, das mit Abstand preisgünstigste ist. Die geringe molare Masse von NH₃ im Verhältnis zu Luft führt dazu, dass aus einer Kälteanlage gasförmig austretendes Kältemittel sehr schnell im Raum aufsteigt und von der Decke über einen Abluftventilator aus dem Raum herausgebracht werden kann. NH₃-Anlagen müssen grundsätzlich aus Stahl bzw. Edelstahl gebaut werden, da NH₃ z.B. Kupfer angreift und zerstört. Somit sind Hersteller und ihre Produkte für NH₃-Kälteanlagen meist gänzlich andere als bei konventionelle Freon- bzw. CO₂-Kälteanlagen. Für NH₃-Kälteanlagen gelten durch aktuelle Normen und Richtlinien festgelegte hohe Sicherheitsanforderungen. Es bleibt zu bedenken, dass NH₃ brennbar ist. Es entzündet sich bei einer Konzentration in der Luft zwischen 15 % und 28 %. Entsprechende Sicherheitseinrichtungen zur Beschränkung der Konzentration von NH₃ sind zu errichten.

B.6 Detailbetrachtung des Abwasserkanals

B.6.1 Visualisierung und Abschätzung des Temperaturverlaufs im Abwasserkanal

Zur Visualisierung und zum Treffen einer ersten Abschätzung, wie sich der Anschluss der einzelnen Untersuchungsgebiete auf den Temperaturverlauf im Abwasserkanal auswirkt, wurde ein einfaches Simulationsmodell erstellt. Für jedes Untersuchungsgebiet wird die benötigte Heizleistung hinterlegt, wobei hier zwischen Niedertemperatur- und Hochtemperaturheizsystemen unterschieden wird. Im Falle eines Niedertemperatursystems wird davon ausgegangen, dass das Abwasser direkt zum Beheizen der jeweiligen Gebäude verwendet werden kann, während bei Hochtemperatursystemen die Verwendung einer Wärmepumpe (fixer COP von 4) zugrunde gelegt ist. Dabei wird immer der „Worst Case“ betrachtet, also der Fall, wenn alle Gebäude die maximale Anschlussleistung beziehen.

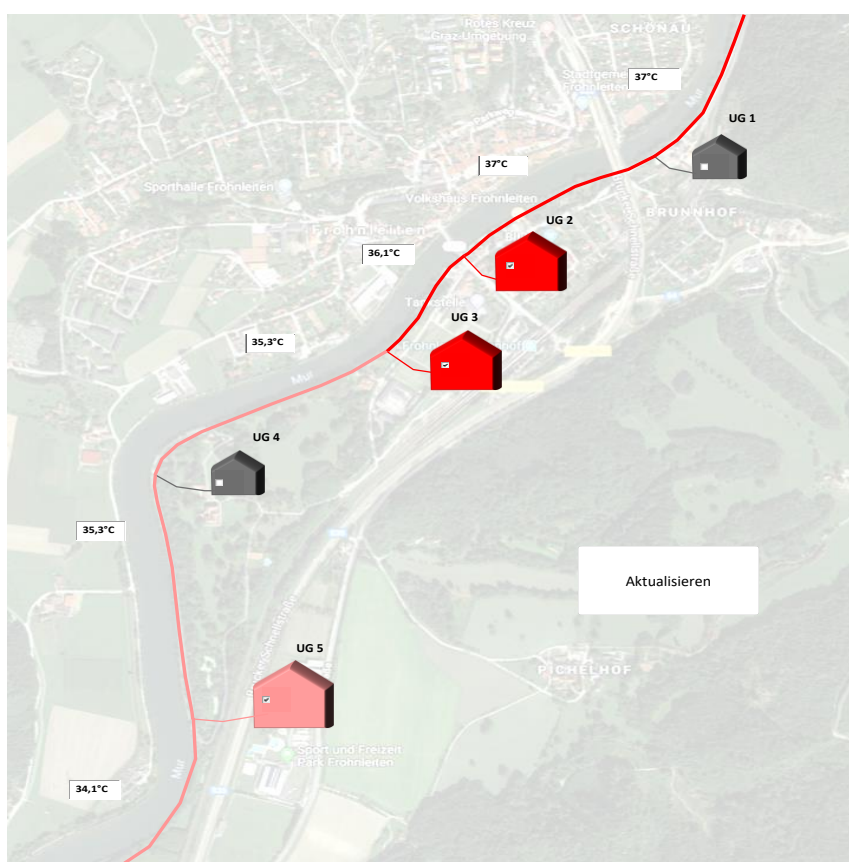


Abbildung 23: Visualisierung des Temperaturverlaufes in der Abwasserleitung ²⁷

Ein Beispiel ist in Abbildung 23 dargestellt. In diesem Fall wird von einer Umsetzung von UG2, UG3 und UG5 ausgegangen. UG1 und UG4 wurden deaktiviert und haben daher keinen Einfluss auf den Temperaturverlauf. Den aktivierten Untersuchungsgebieten wurden die jeweils benötigten Anschlussleistung hinterlegt. Die Größe der Haussymbole, mit denen die Untersuchungsgebiete dargestellt sind, gibt Aufschluss über die Höhe der benötigten Anschlussleistung und die Farbe über das dort vorherrschende Temperaturniveau in der Abwasserleitung. In diesem Beispiel sieht man, wie die Temperatur von ursprünglich 37°C durch die Wärmeentnahme der Untersuchungsgebiete bis zur Einspeisung in die Mur auf 34,1°C absinkt.

²⁷ Aufnahme Frohnleiten (bearbeitet durch Autor), Google©, Google Maps, 15.05.2018, www.google.com/maps

B.6.2 Einsatzmöglichkeiten von im Kanal eingebauten Wärmetauschern

Um die Einsatzmöglichkeiten von im Kanal eingebauten Wärmetauschern abzuklären, wurde ein Versuch zur Bestimmung der tatsächlichen maximalen Kapazität des Abwasserkanals (bzw. des noch für einen Einbau von Wärmetauchern zur Verfügung stehenden Kanalquerschnittes) durchgeführt. Darauf basierend konnte abgeschätzt werden, wie groß eine Verringerung des Querschnittes durch den Einbau von Wärmetauchern sein darf, ohne den vor allem für MM-Karton wichtigen, gesicherten Abfluss des Abwassers zu gefährden. Dazu wurden bei MM-Karton die in den Kanal eingeleiteten Abwassermengen für bestimmte Zeitfenster möglichst konstant gehalten (ca. 3.000, 5.000 und 6.500 l/min) sowie die Wasserpegel bei mehreren Schächten des Kanals über die gesamte Versuchslaufzeit (6 Stunden) dokumentiert. Der Versuch führte zur Erkenntnis, dass die Kapazität des Kanals deutlich unter jener liegt, welche die wasserrechtliche Genehmigung ausweist (10.000 m³/Tag bzw. ca. 7.000 l/min). Bereits bei einem Durchfluss von ca. 5.000 l/min beginnt sich das Abwasser vom Bereich des Düker Richtung Norden aufzustauen. Nach ca. einer halben Stunde mit einem Durchfluss von ca. 5.000 l/min tritt an südlichen gelegenen Schächten Abwasser an die Oberfläche (siehe Abbildung 24, Abbildung 25, sowie Abbildung 26).

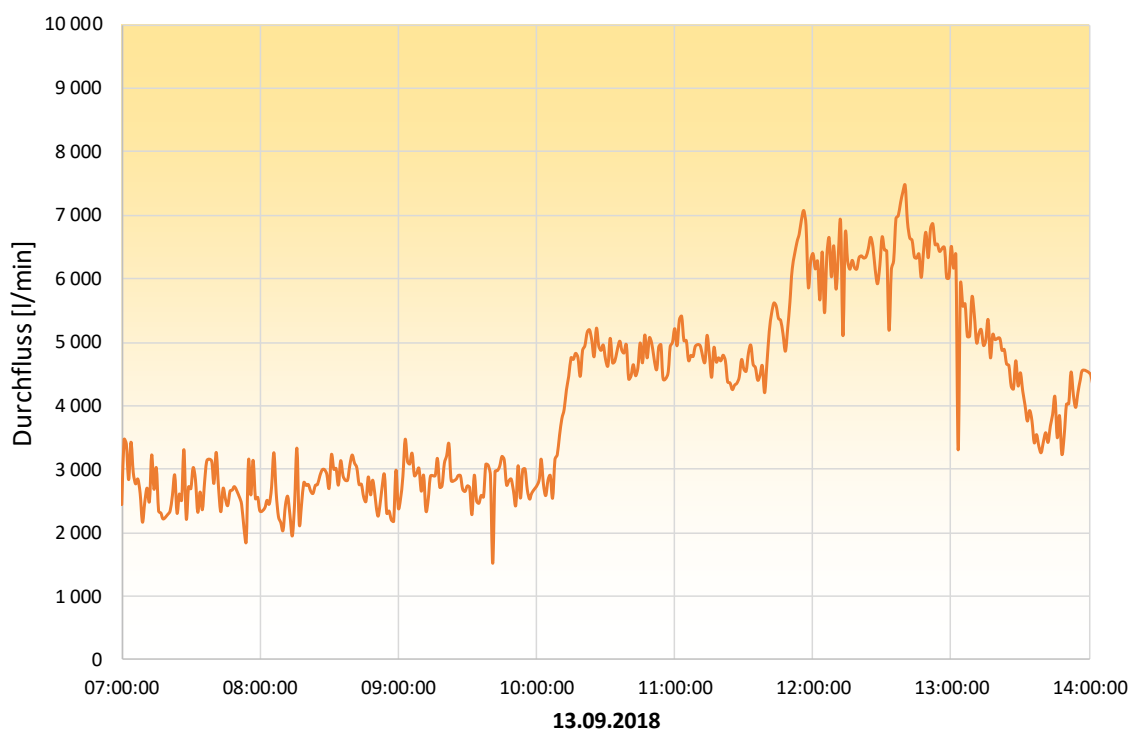


Abbildung 24: Ablaufmengen der ARA im Zuge des Versuchs (l/min)

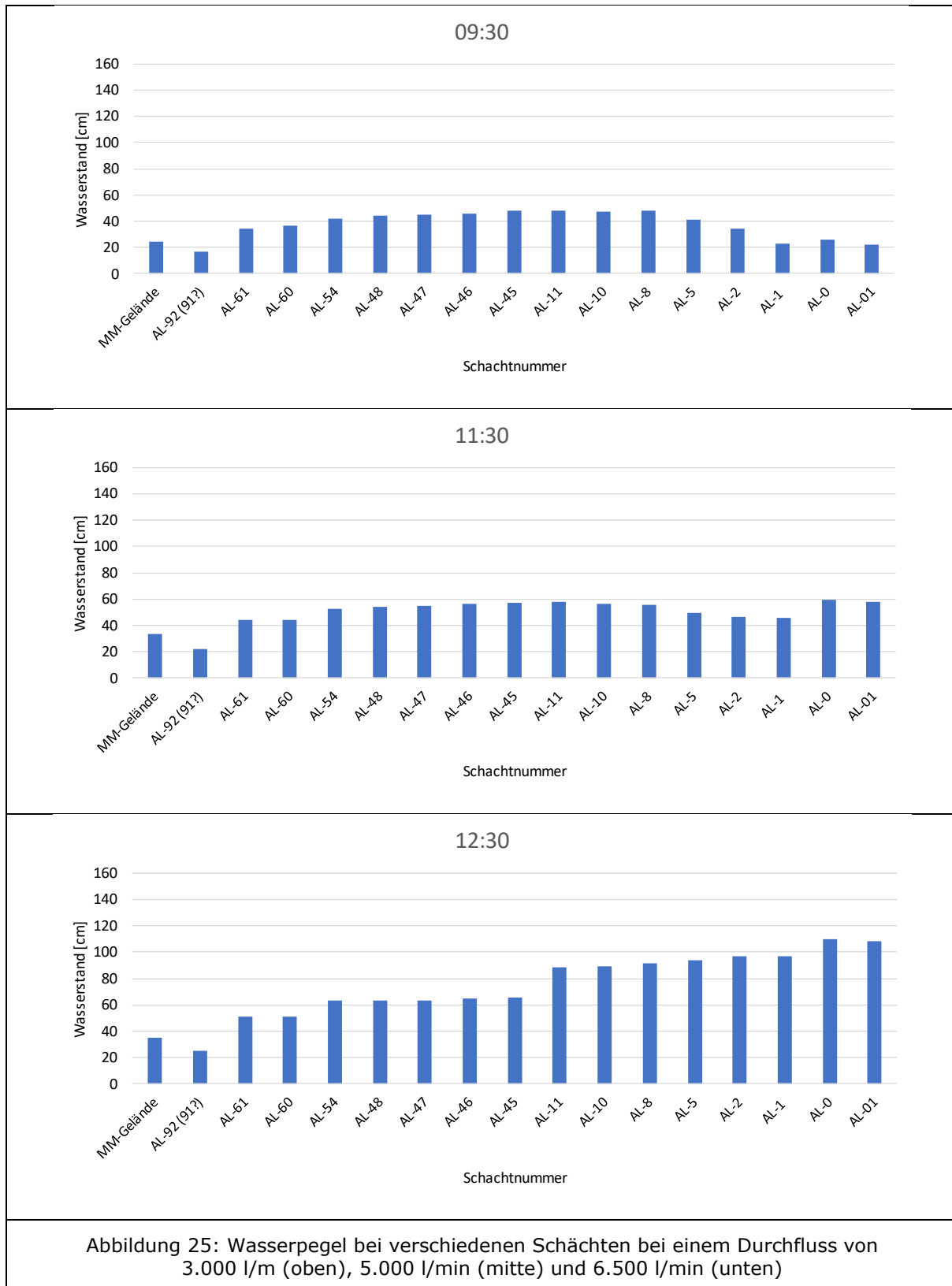




Abbildung 26: Schacht AL-0 und Schacht AL-01 am Ende des Versuchszeitraumes bei einem Durchfluss von 5.000 l/min

Die Datenaufzeichnungen der Abflussmengen aus der ARA aus den letzten Jahren (Abbildung 27) zeigt, dass die max. erlaubte Menge von 10.000 m³/Tag seit 2012 niemals erreicht wurde. Die Werte lagen meist zwischen 5.000 und 7.000 m³/Tag (entspricht ca. 3.500 bis 5.000 l/min), äußerst selten über 7.000 m³/Tag und lediglich ein einziges Mal über 8.000 m³/Tag (ca. 5.500 l/min). Der „kritische Bereich“ hinsichtlich der Kanalkapazität beginnt laut des Versuchs bereits bei einem Durchfluss von ca. 5.000 l/min über mehr als eine halbe Stunde. Der Einbau von Wärmetauschern in den Kanal würde zu einer Querschnittsverengung von ca. 5 bis 10 % führen und die Situation somit verschärfen. Diese Erkenntnisse führten dazu, dass ein Einsatz von im Kanal eingebauten Wärmetauschern auszuschließen ist. Es kommen lediglich externe Wärmetauscher (vorgeschaltete Abwasserentnahme aus dem Kanal und nachgeschaltete Rückführung) oder in zu errichtenden Kanalbypässen verbaute Wärmetaucher in Frage.

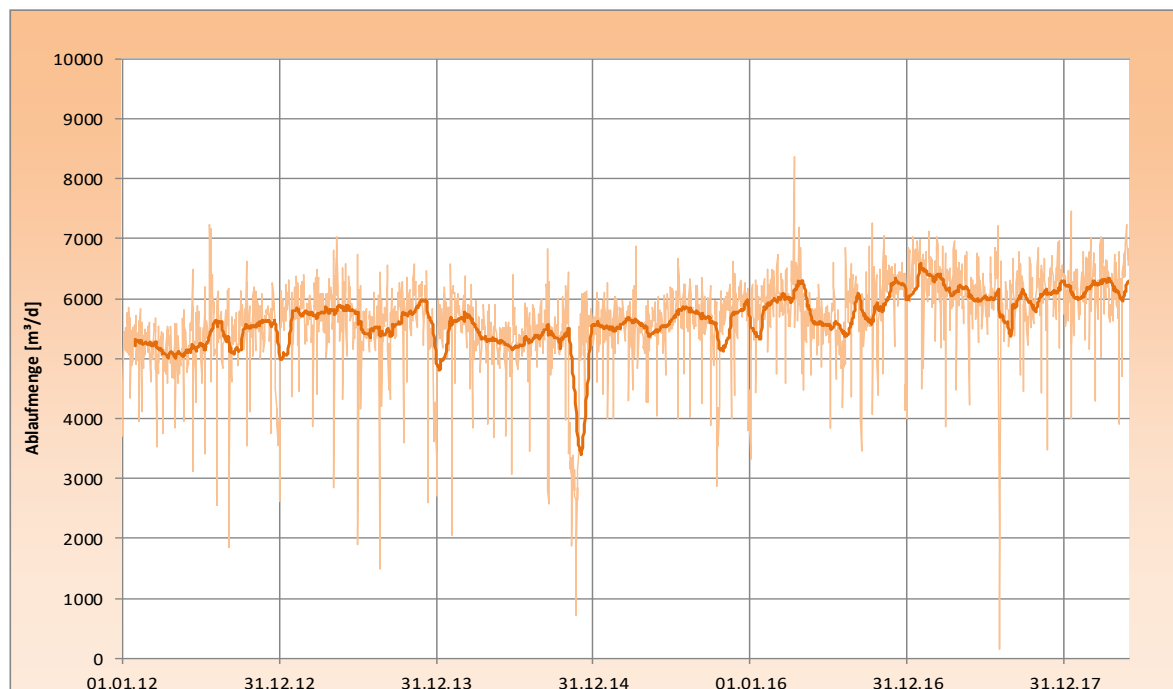


Abbildung 27: Abwasserabfluss aus der ARA (m³/Tag)

B.7 Auswahl der Wärmeabnehmer

B.7.1 Ausgewählte Abnehmer

Im Zuge der Durchführung von Wirtschaftlichkeitsberechnungen stellte sich heraus, dass lediglich für das Untersuchungsgebiet 3 eine wirtschaftlich sinnvolle Umsetzung absehbar ist. UG 3 umfasst im Wesentlichen jene Objekte, die bereits im Rahmen der Projektplanung beschrieben wurden. Abweichend davon werden anstatt des „Entbindungsheimes“ (Abbruch) ein Neubau eines Bürogebäudes sowie ein mittelfristig geplanter Wohnneubau berücksichtigt. UG 3 beinhaltet somit folgende Objekte: MM-Forstdirektion, MM-Forsttechnik, Büroneubau, Wohnneubau, Lagerhausfiliale, MM-Pflanzgarten und SPAR-Filiale (siehe auch Abbildung 28).

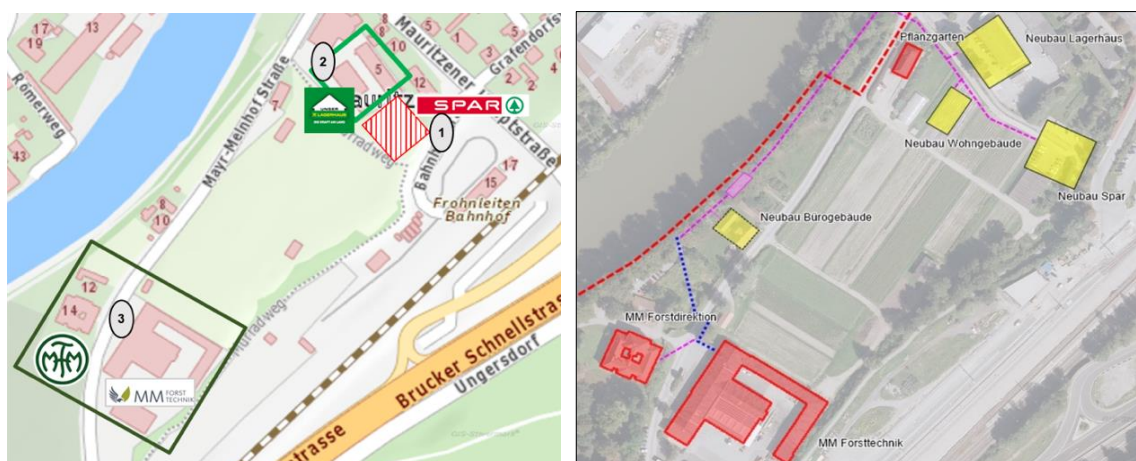


Abbildung 28: Objekte laut Antrag (links) & tatsächlich betrachtete Objekte des UG 3 (rechts) ²⁸

B.7.2 Begründungen des Ausschlusses der anderen Abnehmer

UG 1: Die Kombination aus höheren Investitionskosten im Vergleich mit alternativen Heizungssystemen, die Notwendigkeit eines Hochtemperaturwärmeabgabesystems sowie eines verhältnismäßig niedrigen Wärmebedarfs führt dazu, dass hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit keine Amortisation im angestrebten Zeitraum erreicht werden kann.

UG 2: Aufgrund der Platzverhältnisse in den bestehenden Technikräumen der Abnehmergebäuden ist die Errichtung von externen Abwasserwärmetauschern nicht realisierbar. Der Bau einer Heizzentrale ist wirtschaftlich nicht darstellbar. Der Einbau eines Rohrwärmetauschers in den Abwasserkanal ist nicht möglich (Querschnittsverringern!).

UG 4: Aufgrund des geringen Alters der Biomasseheizung des Schlosses und der niedrigen Biomassepreise (Mayr-Melnhof intern) ist ein Austausch wirtschaftlich nicht vertretbar.

UG 5: Aufgrund der Lage des Gebietes (Autobahn und Bahngleise zwischen den potentiellen Abnehmergebäuden und dem Abwasserkanal) ergeben sich hohe Anschlusskosten. Ein Austausch der vorhandenen Gaskessel - lange vor Ende deren Lebensdauer (Baujahr 2011) - ist wirtschaftlich nicht vertretbar.

²⁸ Google©, Google Maps, www.google.com/maps

B.8 Technisches Konzept

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Datenanalyse hinsichtlich des Abwasserkanals sowie der Wärmeabnehmer bzw. deren Auswahl erfolgte die Konzeption von Teilsystemen sowie eines technischen Gesamtkonzepts des Wärmeversorgungs-systems für UG 3. Die zur Anwendung kommenden Technologien für Erzeugung, Übertragung und Verteilung sowie deren technische Parameter wurden definiert. Weiters wurden Standorte bzw. Einbauorte von Teilsystemen, Netzverlauf etc. festgelegt.

B.8.1 Wesentliche Erkenntnisse der Konzepterstellung

Im Rahmen der Konzepterstellung ergaben sich einige wesentliche Erkenntnisse für den weiteren Projektverlauf.

B.8.1.1 Erkenntnisse, die zur Erarbeitung neuer Szenarien führten

Im Zuge der Erarbeitung des technischen Gesamtkonzeptes stellte sich heraus, dass eine Einbindung des SPAR-Marktes aus energetischer Sicht keinen Sinn macht. Einerseits gibt es bei SPAR konzerninterne Vorgaben zur Ausführung der Wärmeversorgung (Nutzung der Abwärme der Kühlaggregate mittels Wärmepumpe) die dazu führen, dass der geplante SPAR-Markt keine weitere Wärme benötigt – es stellt sich sogar ein Überschuss ein. Dieser Überschuss ist andererseits jedoch derart gering und dessen Temperaturniveau derart niedrig, dass sich eine Einbindung bzw. Einspeisung in das geplante Wärmenetz nicht rentiert. Somit kommt der geplante SPAR-Markt für eine Beteiligung an der Umsetzung nicht in Frage.

Die Analyse der baulichen Gegebenheiten bei den einzelnen Wärmeabnehmern führte zum Entschluss, zur Wärmeentnahme externe Wärmetauscher mit vorgeschalteter Abwasserentnahme aus dem Kanal und nachgeschaltete Rückführung des Abwassers in den Kanal zu verwenden. Vorgesehen wurden speziell für Abwasseranwendungen geeignete Rohrbündelwärmetauscher.

Die parallel durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen, die im Sinne einer zukunftsfähigen Realisierung auf Basis von Realdaten in Kombination mit konservativer Annahmen durchgeführt wurden, zeigten, dass eine wirtschaftliche Umsetzung in der geplanten Form für die möglichen Investoren nicht vorstellbar war (siehe Abschnitt B.9, Kapitel B.9.2.2 *Ergebnisse und Schlussfolgerungen (ursprüngliches Szenario)*). Dies führte zu Überlegungen, wie das technische Konzept angepasst werden könnte, um eine wirtschaftliche Umsetzung zu ermöglichen. Das Konzept wurde überarbeitet, dabei wurden folgende Änderungen berücksichtigt:

1. Alternative Kältemittel (anstatt CO₂) für die Wärmepumpen

- Das Kältemittel HFO R1234ze erreicht zwar nicht den großen Vorteil von CO₂ hinsichtlich des Treibhauspotenzials (Global warming potential = GWP), bietet im Vergleich zu herkömmlichen Kältemitteln (z.B. R134a) jedoch einen deutlichen Vorteil (GWP CO₂ = 1; HFO R1234ze = 6; R134a = 1.430!). Bei dem Einsatz des HFO Kältemittels R1234ze sind entsprechend der Einstufung in die Sicherheitsklasse A2L Maschinenraum Sicherheitsanforderungen nach EN 378 zu gewährleisten. Dies führt zu einer zusätzlichen Kostenerhöhung im Hinblick auf die Wärmepumpenanlage und deren Installation. Im Zuge der Detailplanung und Kostenerhebung der Wärmepumpenanlage samt peripheren Einrichtungen mit dem Kältemittel R1234ze konnte festgestellt werden, dass für die erforderliche Wärmeleistung aufgrund der ungünstigen Wärmeabnehmerstruktur (entsprechend der örtlichen vorhandenen Gebäudestruktur und der daraus resultierenden

erforderlichen Heizleistungen und Systemtemperaturen) die Anlagenkosten unverhältnismäßig hoch sind.

- Ammoniak als Kältemittel musste für den vorliegenden Fall aus Kostengründen (Sicherheitsanforderungen) ausgeschlossen werden.
- Das Kältemittel R513A ist ein Low-GWP-Ersatzkältemittel. Es hat einen um etwa 56% niedrigeren GWP-Wert ($R134a = 1430 / R513A = 631,4$) und soll allgemein zukünftig das Kältemittel R134a ersetzen. R513A ist eine Kältemittelmischung. Es besteht aus 50 % R134A und 50 % R1234yf. Durch die Mischung des Sicherheitskältemittels R134a (A1) und des bedingt brennbaren Kältemittels R1234yf (A2L) ist das Kältemittel R513A (A1) nicht brennbar. Die thermodynamischen Eigenschaften sind ähnlich zu R134A, wodurch die Komponenten der Kälteanlagen nur unwesentliche Änderungen erfordern. Die Anlageneffizienz kann im Vergleich zu Anlagen mit R134a gesteigert werden. Dies führt zu einem hohen Kosten-Nutzen Verhältnis.

2. Einsatz von an die Abwassersituation angepassten Freistrom-Plattenwärmetauschern (siehe auch Abschnitt B.8.1.4:

Anstatt speziell an Abwasseranwendungen angepasste Rohrbündelwärmetauscher sollen Freistrom-Plattenwärmetauscher verwendet werden. Dies führt zu einer Kosteneinsparung bei den Wärmetauschern um den Faktor 5. Diese Maßnahme verringert zwar den technologischen Innovationsgrad hinsichtlich der Einzelkomponente Wärmetauscher, jedoch steigen die Anforderungen an die konstruktive Gestaltung der Komponenten sowie die anlagentechnische Verschaltung für die Vorreinigung des Abwassers. Weiters führt diese Maßnahme zu einer Senkung der Kosten für das geplante Heizhaus, da die im Vergleich zu Rohrbündelwärmetauscher kleineren Plattenwärmetauscher den Platzbedarf der „Heizzentrale“ verringern.

B.8.1.2 „Neue“ Szenarien

Für folgende Szenarien hinsichtlich der Wärmeabnehmer des UG 3 wurden weitere Konzepte erarbeitet (siehe auch Abbildung 29).

- „Nur MM“ (Forstdirektion, Forsttechnik, Büroneubau) → **Szenario 1**
- „Oberes Gewerbe“ (Wohnneubau, Lagerhaus, Pflanzgarten) → **Szenario 2**
- „Nur MM“ + „Oberes Gewerbe“ → **Szenario 3**

Szenario 3) erschien im Sinne des Projektantrages wirtschaftlich umsetzbar. Dieses erhielt ebenso das technische OK. Nachfolgende werden beispielhaft einige Aspekte hinsichtlich des für UG 3 geplanten Systems beschrieben.

Die erforderliche Netztemperatur wird durch den Wärmeabnehmer mit der höchsten erforderlichen Vorlauftemperatur bestimmt. Sämtliche betriebsrelevanten Komponenten der Wärmeversorgung befinden sich in einem zentralen Heizhaus, von wo aus die Wärme über flexible vorisolierte Kunststoffrohrleitungen zu den einzelnen Abnehmern transportiert wird. Zur Steigerung der Betriebssicherheit der Wärmeversorgung werden Wärmeübergabestationen zur Systemtrennung bei den einzelnen Wärmeabnehmern vorgesehen.

Weiters wurde bei der Anlagenplanung des Wärmenetzes der Umstand berücksichtigt, dass ein Teil des Gebäudes der MM-Forsttechnik über einen Industriefußbodenheizung verfügt und damit eine Direktversorgung mittels Abwärme möglich ist. Um diesen Betriebszustand zu ermöglichen wurde zusätzlich zum warmen Verteilnetz eine Niedertemperaturschiene hydraulisch berücksichtigt.

B.8.1.4 Abwasserentnahme und Wärmetauscher

Die Ausführung der Abwasserenergienutzungsanlage wird im Wesentlichen durch die Art des Wärmetauschers bestimmt. Bestimmende Faktoren für die Wahl des Wärmetauschersystems sind die Eigenschaften des Abwasserkanals, die Möglichkeit zur Erschließung der Wärmequelle, die Zusammensetzung des Abwassers sowie dessen Tagesabflussganglinie.

In gegenständlichem Fall wurde die Technologiewahl im Wesentlichen von der hydraulischen Abflusskapazität des Abwasserkanals bestimmt. Umfangreiche Analysen des Bestandsgerinnes haben ergeben, dass die Kapazitätsgrenze des bestehenden Abflusssystem bereits erreicht ist und eine Verringerung des Abflussquerschnittes, wie es bei kanalintegrierten Wärmetauschersystemen auftritt, nicht möglich ist. Aus diesem Grund wurde für die Planung der Abwassernutzungsanlage der Einsatz von selbstreinigenden Rohrbündelwärmetauschern, mit auf die Abwasserzusammensetzung abgestimmten Materialien, untersucht. Aufgrund der mechanischen Abreinigung der Wärmetauscherflächen bestehen nur geringe Anforderungen an die Entnahme des Abwassers, sodass die Maßnahmen für die Adaption des vorhandenen Entnahmebauwerk gering ausfallen. Die Auslegung der Komponenten erfolgte in Form eines bivalenten Wärmepumpensystems mit Gaskessel als Zusatzkessel. Dadurch konnte die benötigte Wärmetauscherleistung verringert und trotzdem ein größtmöglicher Deckungsanteil durch die Wärmepumpe erreicht werden.

Im Zuge der Ausarbeitung zeigt sich jedoch, dass die Investitionskosten für die Anlagentechnik sowie für die große notwendige Aufstellfläche der Rohrbündelwärmetauscher eine Amortisation im Vergleich zu anderen Systemen nicht ermöglichen. Folglich wurde eine Alternative zu den kostenintensiven Rohrbündelwärmetauschern erarbeitet. Bei der schlussendlich gewählten Systemtechnologie handelt es sich um Plattenwärmetauscher mit einer strömungsoptimierten Anströmfläche und vergrößerten Lamellenabständen. Der wesentliche Nachteil dieser Technologie ist die höhere Anforderung an den Reinheitsgrad des Abwassers, sodass der Abwasserentnahme und Vorreinigung große Beachtung geschenkt werden muss. Dazu wurde ein System entworfen, welches durch redundante Vorreinigungsstufen in Form eines Entnahmebauwerkes mit Tauchpumpen und zusätzlicher automatischer Rückspülung mit Eigenmedium die Wärmetauscher vor Fremdstoffanteilen schützt. Weiters wurde die Möglichkeit für eine periodische Kreislaufumkehr auf der Primärseite der Wärmetauscher anlagentechnisch geplant.

Das gereinigte Industrieabwasser wird aus dem Abwasserkanal über eine Leitung mittels Tauchpumpe entnommen und einer Vorreinigungsstufe mit nachgeschalteter Filterstufe zugeführt und weiter in die Heizzentrale gefördert. Nach der Wärmeübertragung wird das Abwasser wieder in den Kanal zurückgeführt. Aufgrund der nahezu konstanten großen Abwassermenge kann das Volumen des Entnahmebauwerkes auf die Anforderungen der

Siebfläche ausgelegt werden. In Tabelle 2 sind die Eckdaten der Wärmetauscher sowie des Entnahmebauwerks dargestellt.

Tabelle 2: Eckdaten der Wärmetauscher und des Entnahmebauwerks

Bauart	Plattenwärmetauscher Free Flow
Reinigung	Umschaltautomatik mit Rückspülung und Filtereinheit sowie Vorreinigungssieb
Wärmeüberträgerleistung	Je 290 kW
Primärtemperaturen	37 °C/ 30 °C
Temperaturen Zwischenkreis	32 °C / 35 °C
Volumenstrom Abwasser	50,23 m ³ /h
Wärmetauscherfläche inkl. Reserve	Je 49 m ²

Als wesentlicher Kostentreiber der Vorreinigung ist die Abwasserqualität und der Fremdstoffanteil zu nennen. Weitere Möglichkeiten zur Vorreinigung in Form von Schacht-siebanlagen wurden aufgrund zu hoher Investitionskosten nicht weiterverfolgt.

Abbildung 31 veranschaulicht das Entnahmebauwerk.

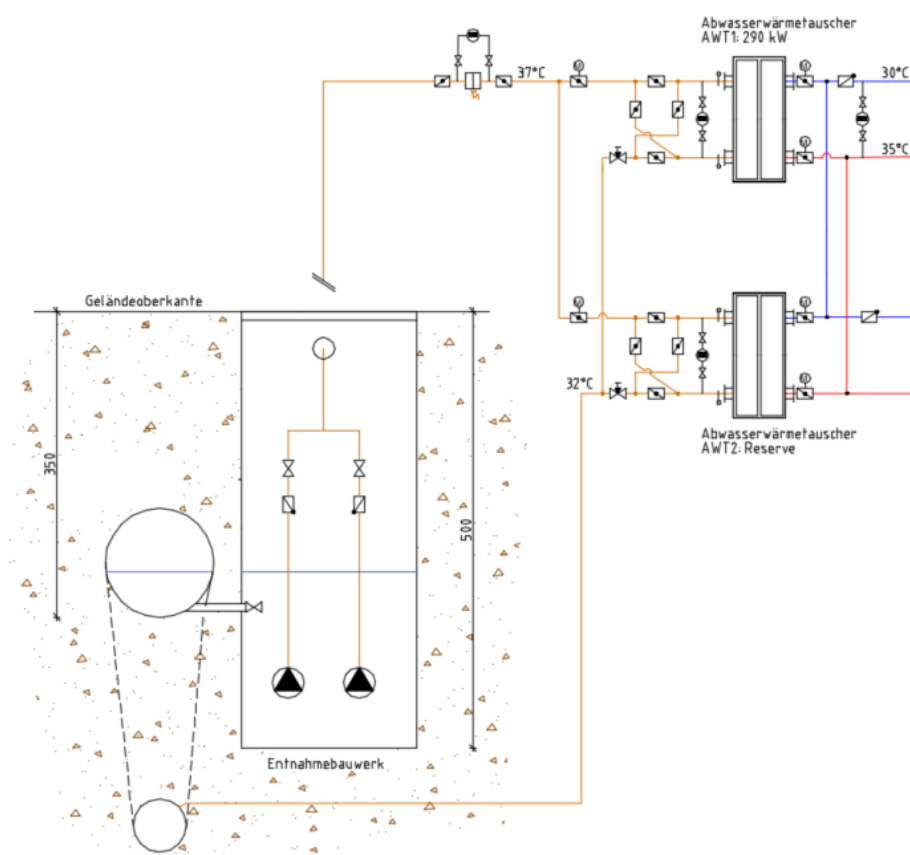


Abbildung 31: Schematische Darstellung des Entnahmebauwerks mit automatischer Vorreinigung und Filterstufe

B.8.1.5 Heizzentrale

Auf Basis der ursprünglich gewählten Rohrbündelwärmetauscher wurde der Raumbedarf für die zentrale Wärmeversorgungsanlage ermittelt und die Aufstellungssituation geplant. Abbildung 32 zeigt die dafür erforderlichen Technikflächen.

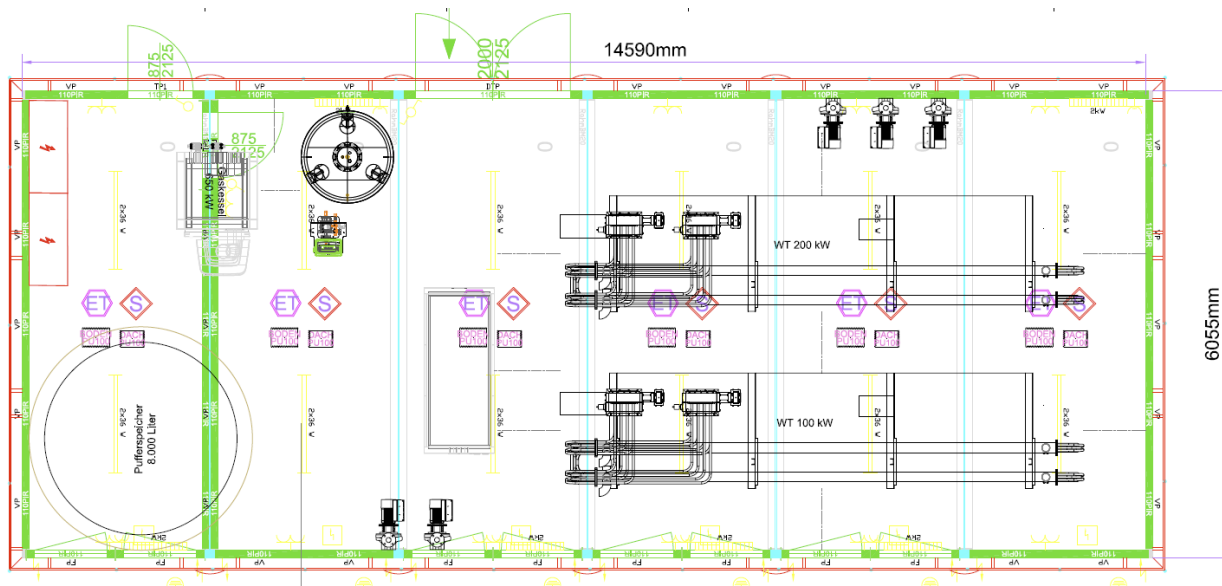


Abbildung 32: Raumbedarf zentrale Wärmeversorgung mit Rohrbündelwärmetauscher

Aufgrund des erforderlichen Flächenbedarfes besteht die Notwendigkeit zur Neuerrichtung einer Heizzentrale in unmittelbarer Nähe zum Abwasserkanal. Bedingt durch die damit verbundenen hohen Investitionskosten wurde, wie bereits zuvor erwähnt, nach alternativen Wärmetauschersystemen gesucht bei welchen zusätzlich zu geringeren Herstellkosten eine geringere Aufstellfläche möglich ist.

Es wurde geprüft, die Heizzentrale in einem bestehenden Gebäude unterzubringen und damit die Investitionskosten zu reduzieren. Bei dem alternativen Gebäude handelt es sich um einen Altbestand in unmittelbarer Nähe zum Abwasserkanal, direkt neben dem Büroneubau (Position siehe Lageplan Wärmenetz in Abbildung 30).

Ursprünglich war geplant, im Erdgeschoss dieses Gebäude ein Archiv einzurichten. Dieses sollte nun in das Dachgeschoss verlegt werden. Um die Machbarkeit beurteilen zu können, wurde dazu eine vor Ort Begehung mit nachfolgender Ermittlung des Raumbedarfes sowie Beurteilung der örtliche Versorgungssituation im Hinblick auf die Gas- und Stromversorgung durchgeführt, mit dem vorläufigen Erkenntnis, dass die baulichen Gegebenheiten dies ermöglichen. Daraufhin wurde eine Kostenabschätzung für notwendige Umbauarbeiten durchgeführt, deren Ergebnisse in die wirtschaftlichen Betrachtungen eingingen.

Die Grundlastwärmeversorgung besteht aus einer Wasser-Wasser Wärmepumpe mit drei Verdichterstufen. Dadurch kann eine stufenweise Anpassung der Leistung erfolgen. Zusätzlich zur Verdichteranzahl wird ein thermischer Speicher verwendet, wodurch eine ausreichende Leistungsregelung erreicht wird. Der Speicher dient weiters als hydraulische Entkopplung zum Wärmenetz.

Nachfolgende Abbildung 33 zeigt die neu geplante Aufstellungssituation mit adaptierten Gebäudeflächen des Bestandsgebäudes.

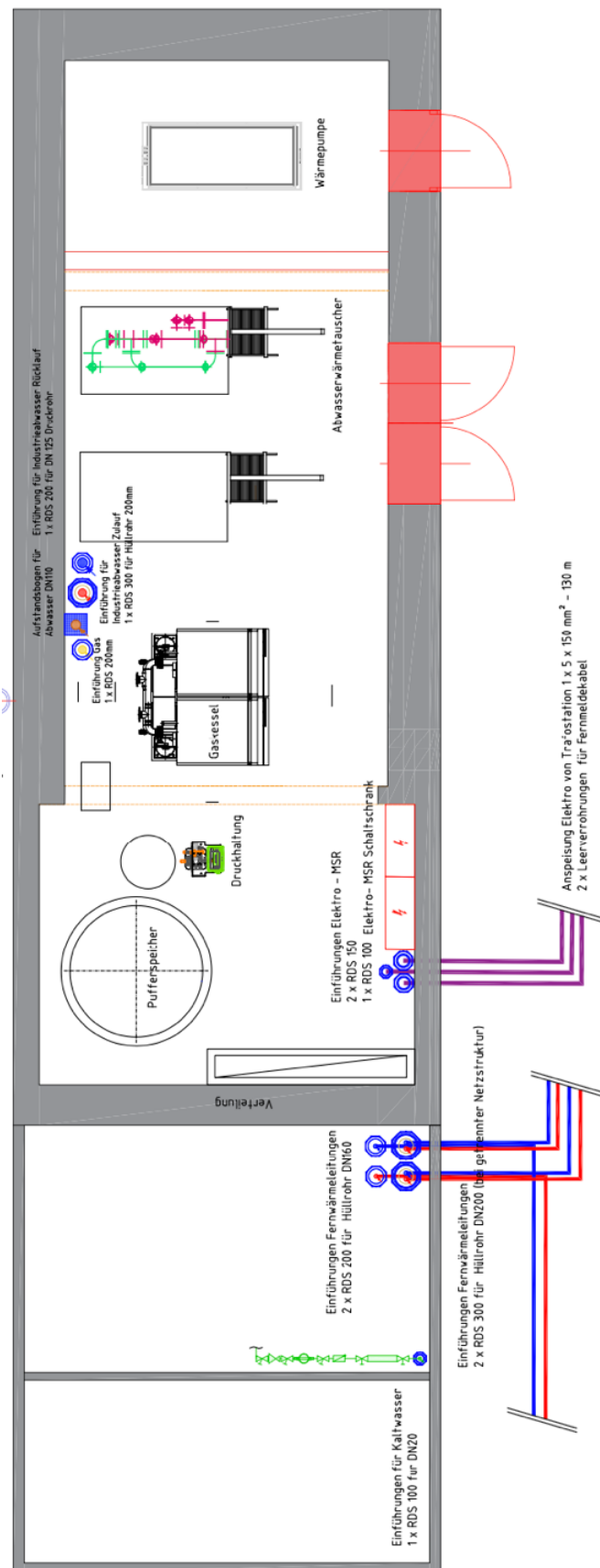


Abbildung 33: Positionierung der Komponenten in der Wärmezentrale bei Verwendung von Plattenwärmetauschern

In Tabelle 3 sind die Eckdaten der Wärmepumpe dargestellt.

Tabelle 3: Eckdaten der Wärmepumpe

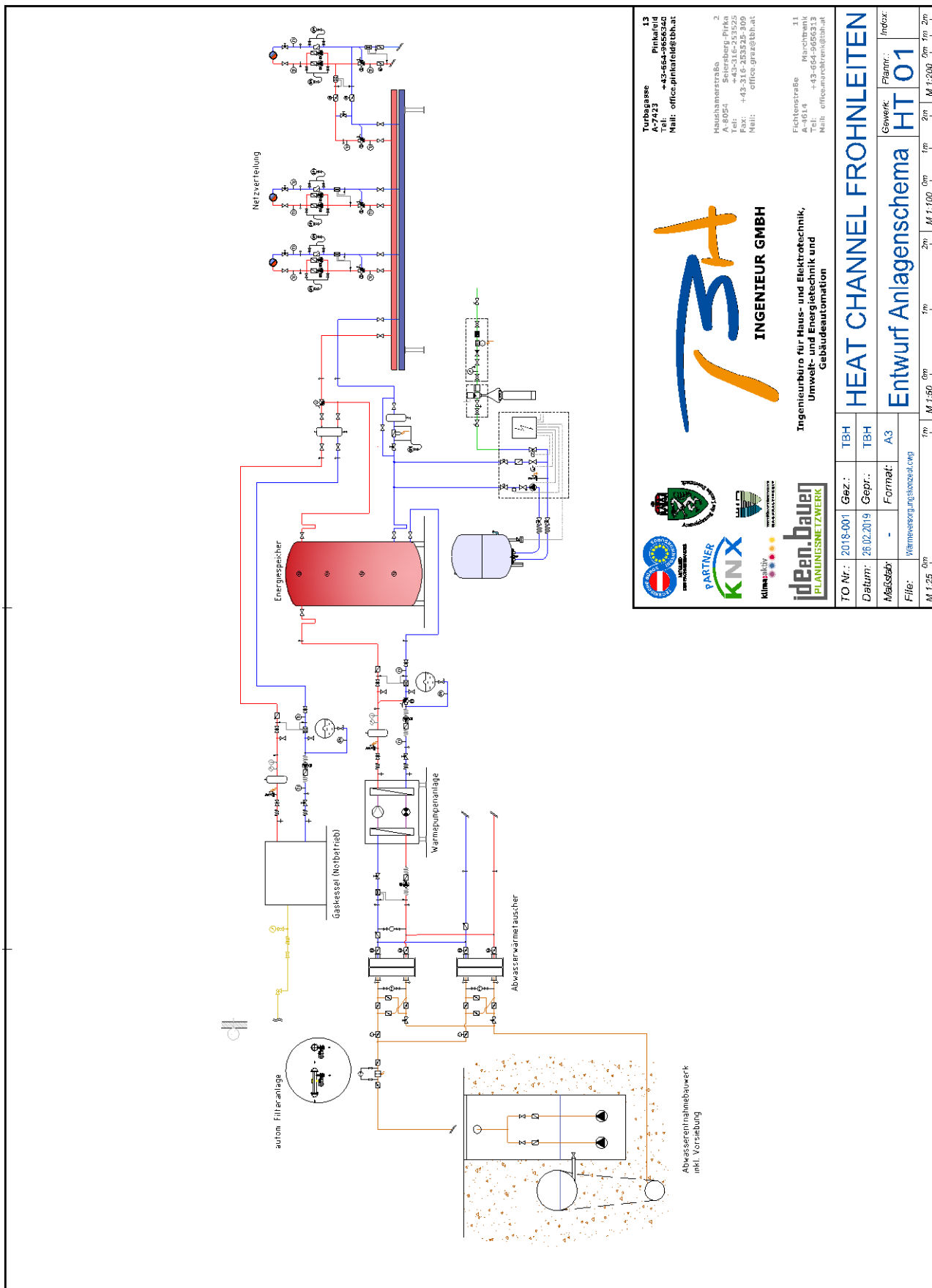
Verdichteranzahl	3 x Kolbenverdichter
Typ	Wasser/Wasser
Kälteleitung	110 kW (B0/W35)
Heizleistung	150 kW (B0/W35)
COP	4,2
Auslegungstemperatur Zwischenkreis	35 °C / 30 °C
Auslegungstemperatur Sekundärseite	75 °C / 60 °C

Die Einbindung des Gasbrennwertkessels erfolgt über eine hydraulische Weiche direkt in den Anlagenvorlauf, sodass eine bivalente Fahrweise erreicht wird. In Tabelle 4 sind die Eckdaten des Gasbrennwertkessels dargestellt.

Tabelle 4: Eckdaten des Gasbrennwertkessels

Nennwärmeleistung	556
Typ	Gas - Brennwertkessel
Betriebsart	modulierend 57 – 600 kW
Kesselwasserinhalt	682
Betriebstemperatur	75 °C / 55 °C
Betriebsdruck	5 bar

Das in Abbildung 34 dargestellte Anlagenschema veranschaulicht die Wirkungsweise der geplanten Komponenten.



Turbogase
A-7423
+43-664-265326-309
Mail: office.pnrla@bhat

Haushamerstraße
A-1054
Seibenberg-Prinla
+43-316-265326-309
Mail: office.greaz@bhat

Pflichtenstraße
A-1014
München
+43-664-9656313
Mail: office.munche@bhat

INGENIEUR GMBH

Ingenieurbüro für Haus- und Elektrotechnik,
Umwelt- und Energietechnik und
Gebäudeautomation

TO Nr.: 2018-001	Gez.: TBH
Datum: 26.02.2019	Gepr.: TBH
Maßstab: -	Format: A3
File: Wärmeverteilungskanal.dwg	

Gewerk: HT 01	Planr.: Infor:
---------------	----------------

M 1:25	M 1:50	M 1:100	M 1:200
--------	--------	---------	---------

1m	2m	5m	10m
----	----	----	-----

Abbildung 34: Entwurf Anlagenschema

B.9 Wirtschaftlichkeit

Hand in Hand mit der Entwicklung des technischen Konzeptes erfolgten wirtschaftliche Bewertungen von Teilsystemen bzw. des Gesamtsystems. Deshalb überschneiden sich auch die Beschreibungen der Abschnitte B.8 und B.9.

Die wirtschaftlichen Bewertungen führten zu wesentlichen Erkenntnissen für den weiteren Projektverlauf.

B.9.1 Grundsätzliche Erkenntnisse

Das Projektkonsortium gelangte zu grundsätzlichen wirtschaftlichen und organisatorischen Erkenntnissen in Bezug auf das Wärmeversorgungssystem laut Projektantrag.

- Die für den Einsatz vorgesehenen CO₂-Wärmepumpen sind für eine wirtschaftliche Umsetzung aktuell noch zu kostenintensiv. Außerdem erfordern Wärmepumpen mit HFO Kältemittel zusätzliche Sicherheitsanforderungen für Maschinenräume, was im gegebenen Leistungsbereich (bis zu 300 kW) zu unverhältnismäßig hohen Investitionskosten führt.
- Die gegebenen Rahmenbedingungen bzgl. der zu versorgenden Gebäude machen die Vorteile eines kalten Netzes (v.a. günstigere Wärmeleitungen) aus wirtschaftlicher Sicht zunichte, es überwiegen dessen Nachteile gegenüber einem warmen Netz (v.a. höherer Technologieinsatz und Platzbedarf bei Abnehmern). Es besteht die Notwendigkeit zur Errichtung eines warmen Netzes, jedoch sind aufgrund der Abnehmercharakteristik sehr hohe Vorlauftemperaturen bei weitläufigen Versorgungslängen erforderlich. Dies führt zu hohen Kosten für das Wärmenetz bei einer Verringerung der Anlageneffizienz der Wärmepumpen, wodurch der Vorteil einer hohen nutzbaren Quelltemperatur des Abwassers relativiert wird.
- Eine zusätzliche Kostenbelastung für das Gesamtsystem entsteht dadurch, dass die Kapazitäten der vor Ort vorhandenen Stromversorgung für die geplante Wärmepumpenanlage hinsichtlich Anschlussleistung nicht ausreichen. Dies wiederum führt dazu, dass umfangreiche Maßnahmen zur Kapazitätserweiterung in Form der Neuerrichtung einer Trafostation erforderlich sind.
- Der vorhandene Fremdstoffanteil im Abwasser erfordert bei der gewählten Wärmetauschertechnologie zusätzliche reinigungstechnische Maßnahmen, welche in Form von Vorreinigungsstufen im Entnahmebauwerk mit zusätzlichen rückspülbaren Einrichtungen und Filtersystemen ausgeführt werden müssen und dadurch die Investitionskosten zusätzlich erhöhen.
- Da der Abwasserkanal nicht im Eigentum der Mayr-Melnhof Karton Gesellschaft mbH ist (wie im Zuge der Beantragung fälschlicherweise angenommen), muss auch der tatsächliche Eigentümer des Abwasserkanals und des Abwassers, der Abwasserverband Raum Frohnleiten, in die Diskussionen miteinbezogen werden. Es ist eine vertragliche Regelung zwischen Mayr-Melnhof Karton Gesellschaft mbH, Abwasserverband und dem zukünftigen Betreiber der Wärmeversorgung notwendig.
- Die Erkenntnisse bzgl. einer realistischen Abnehmerstruktur (ohne SPAR-Markt und kommunale Gebäude des UG 2 und UG 5) führt dazu, dass das Interesse des Projektpartners Gemeindebetriebe Frohnleiten GmbH (GFG) an einer weiteren Beteiligung

signifikant gesunken ist. Die Rolle als Verwalter von kommunalen Abnehmergebäuden kann nicht wahrgenommen werden, eine Rolle als möglicher Betreiber des Wärmenetzes ist somit deutlich nicht attraktiv.

- Folgende „Rollenverteilung“ wurde vorerst fixiert:
 - **Investor:** Franz Mayr-Melnhof-Saurau Forstmanagement und Entwicklungs GmbH oder MM-Ökoressourcen GmbH
 - **Betreiber:** MM-Ökoressourcen GmbH
 - **Abnehmer:** Lagerhaus Graz Land reg. Gen. mbH, Die Frohnleitner, Gemeinnütziges steirisches Wohnungsunternehmen GesmbH, MM Forsttechnik GmbH, Gebäude MM-Pflanzgarten
 - **Vertragspartner Abwärmenutzung:** MM-Ökoressourcen GmbH, Mayr-Melnhof Karton Gesellschaft mbH, Abwasserverband Raum Frohnleiten (bzw. Stadtgemeinde Frohnleiten)

B.9.2 Erkenntnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für das UG 3, die im Sinne einer zukunftsfähigen Realisierung auf Basis von Realdaten in Kombination mit konservativer Annahmen durchgeführt wurden, zeigten, dass eine wirtschaftliche Umsetzung in der geplanten Form für die möglichen Investoren nicht vorstellbar ist.

B.9.2.1 Zugrunde gelegte Annahmen

Folgende Annahmen bildeten die Basis für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen:

- Für die wirtschaftliche Betrachtung wurde das Wärmenetz basierend auf der Abwasserwärmenutzung mitsamt der notwendigen zentralen Wärmepumpe sowie einem Backupsystem (Gasbrennwertkessel) sowohl mit einem Wärmenetz auf Basis eines zentralen Biomassekessels als auch mit dem Einsatz dezentraler Gaskessel (kein Wärmenetz) verglichen.
- Realistische Preissteigerungsraten und Investitionsförderungssätze.

B.9.2.2 Ergebnisse und Schlussfolgerungen (ursprüngliches Szenario)

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für das ursprüngliche Szenario (CO₂ Wärmepumpe, Rohrbündelwärmetauscher) in UG 3 brachten folgende Erkenntnisse (siehe Abbildung 35):

- Die Investitionskosten für eine zentrale erneuerbare Wärmeversorgung (durch Abwasserwärmenutzung oder Biomassekessel) sind beträchtlich höher als für einzelne dezentrale Gaskessel.
- Für die erneuerbaren Wärmeversorgungsanlagen ist im Vergleich zum Einsatz von dezentralen Gaskesseln mit hohen Amortisationszeiten zu rechnen (Abwasserwärme knapp 20 Jahre). Ein Wärmenetz auf Basis der Abwasserwärmenutzung kann nicht mit einem auf Biomasse basierendem Netz konkurrieren.

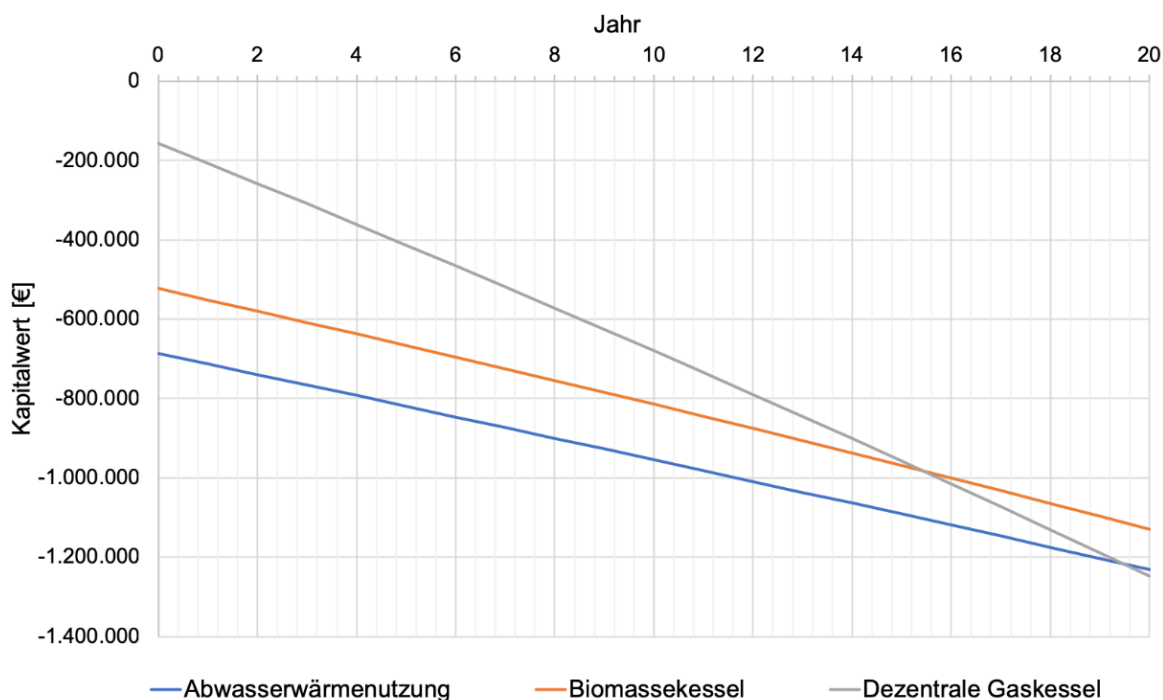


Abbildung 35: Wirtschaftlicher Vergleich von Abwasserwärmenutzung, Biomassekessel, dezentrale Gaskessel für ein Wärmeversorgungssystem laut Projektantrag

- Unter Berücksichtigung eines möglichen Geschäftsmodells, bei dem der Konsortialführer (oder der Projektpartner MM Ökoressourcen GmbH) als Investor und Betreiber des Wärmeversorgungssystems auftritt, kann durch Einnahmen aus der Verrechnung von einmaligen Anschlussgebühren sowie der gelieferten Wärmeenergie an Lagerhaus und Wohnneubau die Amortisationszeit gesenkt werden – jedoch nicht soweit, dass eine Umsetzung wirtschaftlich interessant wird. Dabei wurde berücksichtigt, dass für Lagerhaus und Wohnneubau ein wirtschaftlicher Betrieb der Wärmeversorgung aus deren Sicht gewährleistet werden kann.
- Um die Systemtemperatur des Wärmenetzes und somit die laufenden Kosten der Abwassernutzungsanlage zu reduzieren, wurden für UG 3 ein Szenario ohne Lagerhaus und Pflanzgarten (deren Heizungssysteme sehr hohe Vorlauftemperaturen benötigen) erstellt. Die Senkung des Temperaturniveaus im Wärmenetz führt zu einer Erhöhung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe und somit zu einer Verringerung des Strombedarfs. Aufgrund der Lage bzw. Entfernung der Abnehmer ist in dieser Konstellation eine Versorgung des geplanten Wohnneubaus nicht sinnvoll. Durch diese Systemverkleinerung kann sich die Abwasserwärmenutzung zwar langfristig gegenüber dem Einsatz eines zentralen Biomassekessels behaupten, eine Amortisation im Vergleich zu dem Einsatz dezentraler Gaskessel kann im zugrunde gelegten Beobachtungszeitraum von 20 Jahren jedoch nicht erreicht werden (siehe Abbildung 36).

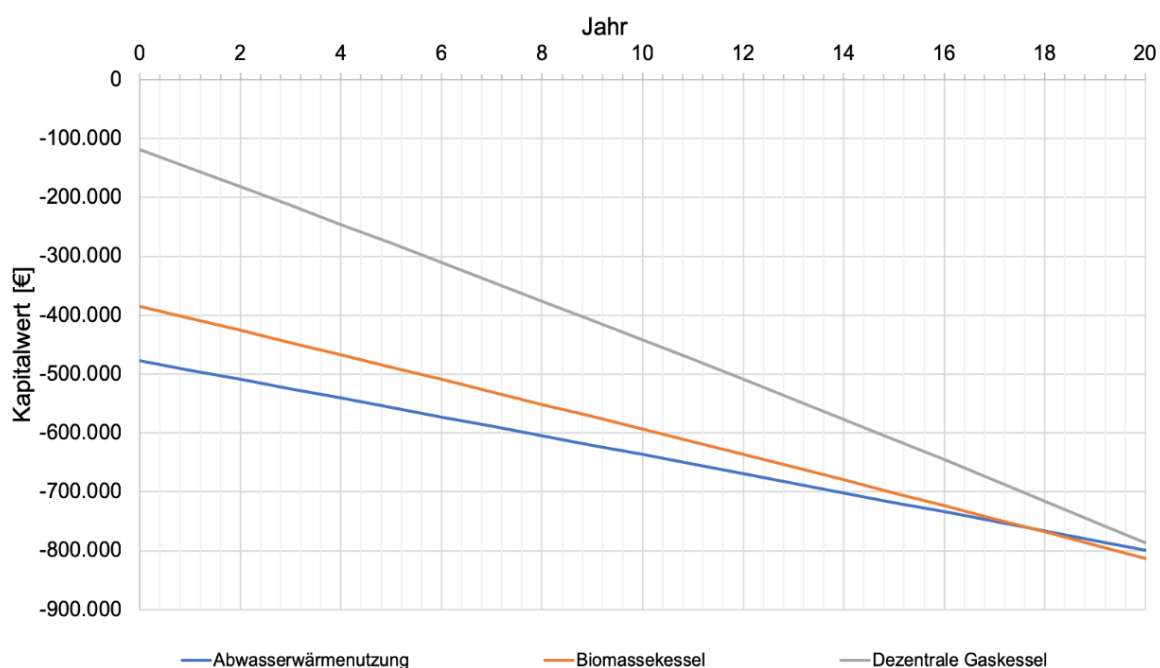


Abbildung 36: Wirtschaftlicher Vergleich von Abwasserwärmenutzung, Biomassekessel, dezentrale Gaskessel für ein Wärmeversorgungssystem mit weniger Abnehmern

- Ebenfalls durchgeführte Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen weiterer Szenarien führten zu ähnlichen Ergebnissen.

B.9.2.3 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für „neue“ Szenarien

Die beschriebenen Erkenntnisse führten zu Überlegungen, wie das technologische Konzept angepasst werden könnte, um eine wirtschaftliche Umsetzung zu ermöglichen. Das Konzept wurde überarbeitet (siehe Abschnitt B.8.1.2) und es wurden drei weitere Szenarien hinsichtlich der Wärmeabnehmer des UG 3 entwickelt sowie erneut diesbezügliche Wirtschaftlichkeitsabschätzungen durchgeführt (siehe auch Abbildung 29):

- „Nur MM“ (Forstdirektion, Forsttechnik, Büroneubau) → **Szenario 1**
- „Oberes Gewerbe“ (Wohnneubau, Lagerhaus, Pflanzgarten) → **Szenario 2**
- „Nur MM“ + „oberes Gewerbe“ → **Szenario 3**

Die Wirtschaftlichkeitsabschätzungen, bei denen die Erlöse aus dem Wärmeverkauf und durch Anschlussgebühren berücksichtigt wurden, brachten folgende Ergebnisse:

- Für Szenario 1 beträgt die Amortisationszeit der Abwasserwärmenutzungsanlage im Vergleich zum Einsatz dezentraler Gaskessel in etwa 16 Jahre.
- Szenario 2 ist unwirtschaftlich – es kann keine Amortisation innerhalb des Beobachtungszeitraums von 20 Jahren erreicht werden.
- Für **Szenario 3** amortisiert sich die Investition in eine Wärmeversorgung auf Basis der Nutzung des Abwassers im Vergleich zum Einsatz dezentraler Gaskessel innerhalb von ca. 13 Jahren (siehe Abbildung 37). Auch im Vergleich mit dem Einsatz eines zentralen Biomassekessels schneidet die Abwasserwärmenutzungsanlage besser ab.

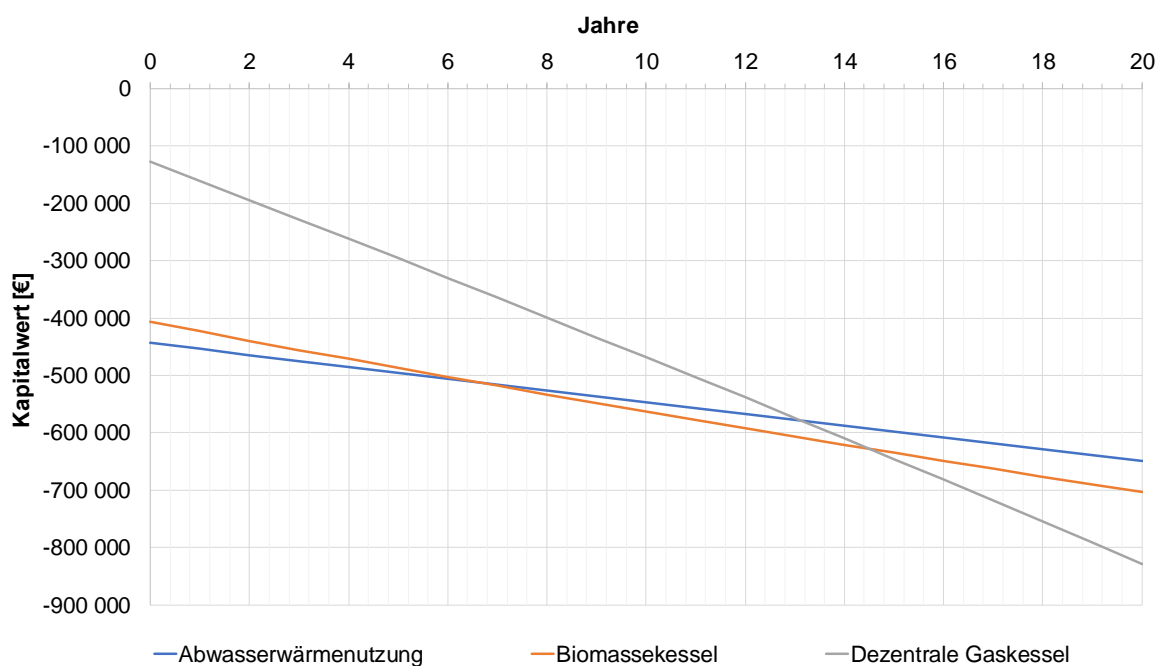


Abbildung 37: Wirtschaftlicher Vergleich von Abwasserwärmenutzung, Biomassekessel, dezentrale Gaskessel für ein Wärmeversorgungssystem laut Szenario 3

Die auf Basis einiger Projektänderungen - sowohl hinsichtlich Technologieeinsatz als auch Abnehmerstruktur - durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bzw. deren Ergebnisse zeigten, dass die Umsetzungsvariante „Szenario 3“ wirtschaftlich erschien. In Abstimmung mit den relevanten Partnern konnte Anfang 2019 vorerst ein wirtschaftliches „OK“ für die Investition in den Demonstrator erreicht werden.

B.10 Projektabbruch

Die immer detailliertere Auseinandersetzung mit den „neuen“ Szenarien bzw. deren Umsetzungsvorbereitungen brachten weitere Erkenntnisse, die auch gegen die Wirtschaftlichkeit dieser Szenarien sprachen. Das Konsortium musste schlussendlich im März 2019 einen Projektabbruch beschließen.

Diesbezüglich waren vor allem folgende Punkte ausschlaggebend:

- **Risiko bzgl. der örtlichen Hochwassersituation:**

Im Februar / März 2019 erlangte das Konsortium neue Erkenntnisse bzgl. der Hochwassersituation entlang des Abwasserkanals sowie des geplanten Standortes der Heizzentrale. Diese stammen aus aktuellen Hochwasseruntersuchungen der mittleren Mur, die von Dezember 2018 bis Juni 2019 im Auftrag des Amtes der steiermärkischen Landesregierung durchgeführt wurden. Die daraus resultierenden Gefahrenzonenpläne für Frohnleiten wurden am 26.03.2019 der Öffentlichkeit präsentiert. Diese zeigen, dass der geplante Standort der Heizzentrale sowie große Teile des Abwasserkanals in einem HQ-30 Abflussbereich der Mur liegen (siehe Abbildung 38). Diese Erkenntnis hat zwei weitreichende Konsequenzen:

- Unsicherheit, ob zukünftig notwendige bauliche Maßnahmen hinsichtlich des Hochwasserschutzes entlang der Mur auch den Abwasserkanal betreffen. Eine Nutzung des Kanals zur Wärmeversorgung des Gebietes stellt diesbezüglich zum aktuellen Zeitpunkt ein Risiko dar.
- Die Lage des geplanten Standortes der Heizzentrale in einem HQ-30 Abflussbereich der Mur bedingt erhöhte baulichen Auflagen und führt somit zu deutlichen Mehrkosten der notwendigen Gebäudeadaptation.



Abbildung 38: Lage von Abwasserkanal & Heizzentrale im HQ-30 Abflussbereich der Mur²⁹

- **Höhere Investitionskosten:**

Zusätzlich zu den Mehrkosten durch bauliche Auflagen bedingt durch die Lage des geplanten Standortes der Heizzentrale in einem HQ-30 Abflussbereich der Mur stellte sich

²⁹ <https://gis.stmk.gv.at>

die erste Kostenabschätzung hinsichtlich des notwendigen Umbaus eines Bestandgebäudes zur Unterbringung der Heizzentrale als falsch heraus. Genauere Untersuchungen des Bestandsgebäudes offenbarten substantielle bauliche Mängel, die zu einer wesentlichen Kostensteigerung für die notwendigen Adaptionen führen.

- **Geänderte Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu Alternativen:**

Im Frühjahr 2019 gab es Preisverhandlungen zwischen dem potenziellen Investor der Wärmeversorgungsanlage und dessen Gaslieferanten, die in einem deutlich niedrigeren Gaspreis (minus 20 %) resultierten. Somit wurde das Gas-Vergleichsszenario wesentlich wirtschaftlicher.

Diese Erkenntnisse - höhere Investitionskosten sowie niedrigere Gaspreise - führen dazu, dass eine zwischenzeitlich errechnete Amortisationsdauer der geplanten Abwasserwärmenutzung von 13 Jahren (im Vergleich zum Einsatz von dezentralen Gaskesseln) nicht erreicht werden kann. Die neuen Berechnungen zeigen, dass unter den geänderten Rahmenbedingungen die Amortisationsdauer > 16 Jahre beträgt (siehe Abbildung 39). Für den potenziellen Investor war bereits die zuvor berechnete Amortisationsdauer von 13 Jahren grenzwertig. Zu Projektbeginn wurde intern ein Maximum von 10 Jahren diskutiert, aufgrund des großen Interesses an einer Projektdurchführung seitens des Konsortiums wären 13 Jahre vom Investor jedoch akzeptiert worden. Die sich nun ergebende, doch deutlich längere Amortisationsdauer ist für den Investor nicht akzeptabel.

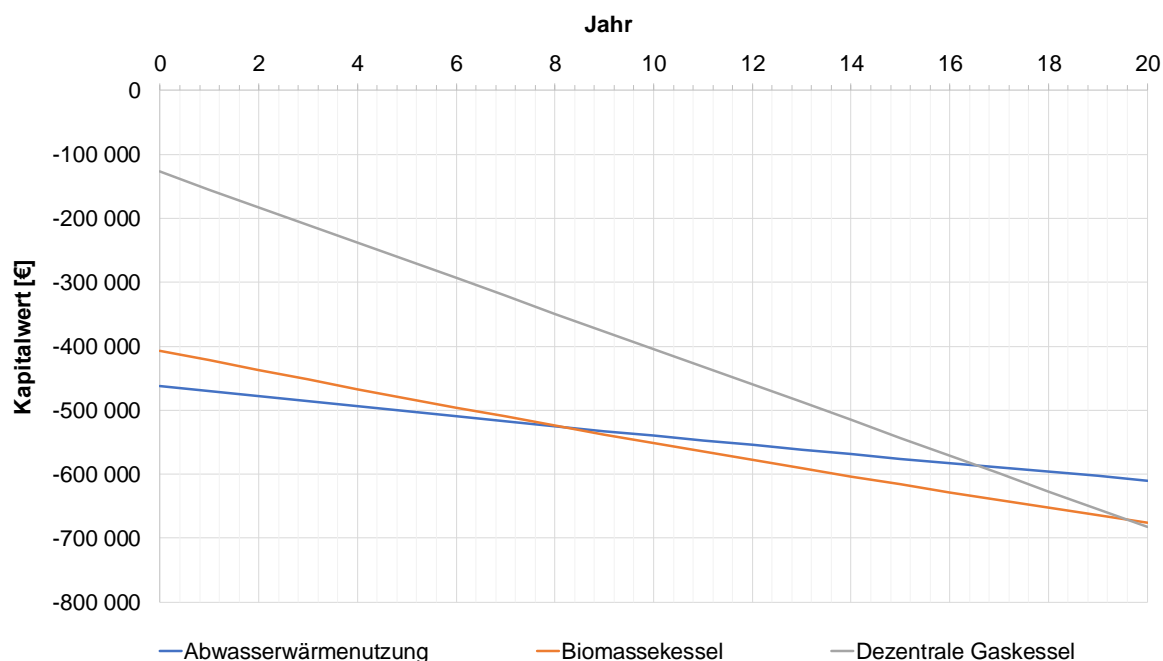


Abbildung 39: Wirtschaftlicher Vergleich von Abwasserwärmenutzung, Biomassekessel, dezentrale Gaskessel für ein Wärmeversorgungssystem laut Szenario 3 unter Berücksichtigung eines niedrigeren Gaspreises und höherer Investitionskosten

B.11 Ausblick und Empfehlungen

Falls die weitere Entwicklung der im Rahmen des Projekts betrachteten Gebiete dazu führt, dass sich dort vermehrt Niedertemperatur-Wärmeabnehmer ansiedeln, ist eine neuerliche Betrachtung der Wirtschaftlichkeit des Systems zu empfehlen.

C. Verzeichnisse

C.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Luftbild mit Kennzeichnung der relevanten Flächen	8
Abbildung 2: Temperatur und Volumenstrom des Abwassers direkt nach der ARA.....	11
Abbildung 3: Übersicht über die Untersuchungsgebiete in Frohnleiten	14
Abbildung 4: Detailansicht Untersuchungsgebiet 1	15
Abbildung 5: Detailansicht Untersuchungsgebiet 2	16
Abbildung 6: Volkshaus Frohnleiten	16
Abbildung 7: Schule für Gesundheits- und Krankenpflege Frohnleiten	17
Abbildung 8: Detailansicht Untersuchungsgebiet 3	17
Abbildung 9: Detailansicht Untersuchungsgebiet 4	19
Abbildung 10: Detailansicht Untersuchungsgebiet 5	20
Abbildung 11: Technologie und Marketingcenter Frohnleiten ¹¹	20
Abbildung 12: Sport und Freizeitpark Frohnleiten	21
Abbildung 13: Kanalwärmetauschersysteme zur Abwasserwärmenutzung in Bestandskanälen Therm-Liner (Uhrig Kanaltechnik GmbH) und TubeWin (Huber SE)	23
Abbildung 14: Vorgefertigte Kanalelemente mit integrierten Wärmetauschern links: Uhrig Kanalbau GmbH, rechts: Rabtherm AG	23
Abbildung 15: Kanalrohrwärmetauscher der Firma Frank GmbH	24
Abbildung 16: Externer Abwasserwärmtauscher mit automatischer Abreinigung der Wärmetauscheroberflächen der Firma Huber SE	25
Abbildung 17: Abwasserwärmerückgewinnungssystem ThermWin mit Entnahmebauwerk	25
Abbildung 18: Freistromabwasserwärmetauscher und Verteileinrichtung der Fercher GmbH .	26
Abbildung 19: Abwasserwärmtauscher mit Reinigungsmolchen der Firma Jaske und Wolf ...	26
Abbildung 20: Feka Sammelschacht Wärmetauscher mit Filter im Abwasserschacht	27
Abbildung 21: Prinzipschema "warmes" und "kaltes" Wärmeverteilstück	29
Abbildung 22: Leistungszahl und Einfluss der Wärmquellentemperatur	31
Abbildung 23: Visualisierung des Temperaturverlaufes in der Abwasserleitung	33
Abbildung 24: Ablaufmengen der ARA im Zuge des Versuchs (l/min)	34
Abbildung 25: Wasserpegel bei verschiedenen Schächten bei einem Durchfluss von 3.000 l/m (oben), 5.000 l/min (mitte) und 6.500 l/min (unten)	35
Abbildung 26: Schacht AL-0 und Schacht AL-01 am Ende des Versuchszeitraumes bei einem Durchfluss von 5.000 l/min	36
Abbildung 27: Abwasserabfluss aus der ARA (m ³ /Tag)	36
Abbildung 28: Objekte laut Antrag (links) & tatsächlich betrachtete Objekte des UG 3 (rechts)	37
Abbildung 29: Im Rahmen von Projektänderungen betrachtete Szenarien bzgl. Wärmeabnehmer im UG 3	40
Abbildung 30: Lageplan Wärmenetz	41
Abbildung 31: Schematische Darstellung des Entnahmebauwerks mit automatischer Vorreinigung und Filterstufe	43
Abbildung 32: Raumbedarf zentrale Wärmeversorgung mit Rohrbündelwärmetauscher	44
Abbildung 33: Positionierung der Komponenten in der Wärmezentrale bei Verwendung von Plattenwärmetauschern	45
Abbildung 34: Entwurf Anlagenschema	47
Abbildung 35: Wirtschaftlicher Vergleich von Abwasserwärmenutzung, Biomassekessel, dezentrale Gaskessel für ein Wärmeversorgungssystem laut Projektantrag	50
Abbildung 36: Wirtschaftlicher Vergleich von Abwasserwärmenutzung, Biomassekessel, dezentrale Gaskessel für ein Wärmeversorgungssystem mit weniger Abnehmern.....	51
Abbildung 37: Wirtschaftlicher Vergleich von Abwasserwärmenutzung, Biomassekessel, dezentrale Gaskessel für ein Wärmeversorgungssystem laut Szenario 3	52
Abbildung 38: Lage von Abwasserkanal & Heizzentrale im HQ-30 Abflussbereich der Mur	53
Abbildung 39: Wirtschaftlicher Vergleich von Abwasserwärmenutzung, Biomassekessel, dezentrale Gaskessel für ein Wärmeversorgungssystem laut Szenario 3 unter Berücksichtigung eines niedrigeren Gaspreises und höherer Investitionskosten	54

C.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wesentliche Eigenschaften verschiedener Wärmetauschersysteme zur Abwasserwärmenutzung	28
Tabelle 2: Eckdaten der Wärmetauscher und des Entnahmebauwerks	43
Tabelle 3: Eckdaten der Wärmepumpe	46
Tabelle 4: Eckdaten des Gasbrennwertkessels	46

IMPRESSUM

VerfasserIn:

Franz Mayr-Melnhof-Saurau
Forstmanagement und Entwicklungs GmbH

DI Willibald Ehrenhöfer
Mayr-Melnhof-Straße 14, 8130 Frohnleiten
Telefon: +43 (0)3126 / 5090
E-Mail: w.ehrenhoefer@mm-forst.at

Projekt- und Kooperationspartner

MM-Ökoresourcen GmbH (Steiermark)
Mayr-Melnhof Karton Gesellschaft mbH
(Steiermark)
Gemeindebetriebe Frohnleiten GmbH
(Steiermark)
4ward Energy Research GmbH (Steiermark)
TBH Ingenieur GmbH (Steiermark)
SPAR Österreichische Warenhandels-AG
(Salzburg)
Lagerhaus Graz Land reg. Gen. mbH
(Steiermark)

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
office@klimafonds.gv.at
www.klimafonds.gv.at

Disclaimer:

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes:

ZS communication + art GmbH