

**BMUB-  
Umweltinnovationsprogramm (UIP)**

**BMUB-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM**

**Abschlussbericht**

**zum Vorhaben**

Realisierung einer Abwasserwärmenutzungsanlage im Wiesental Aachen

**Zuwendungsempfänger/-in**

STAWAG Energie GmbH

**Umweltbereich**

Wärmegewinnung aus Abwasser

**Laufzeit des Vorhabens**

02/2015 – 01/2017

**Autor/-en**

Jan Brinkmann, Christoph Sappa

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und  
Reaktorsicherheit**

**Datum der Erstellung**

01/2017

### Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA:	Projekt-Nr.:
Titel des Vorhabens: Abwasserwärmenutzungsanlage AWNA Wiesental	
Autor/-en (Name, Vorname): Jan Brinkmann (STAWAG Energie GmbH) Christoph Sappa (STAWAG Energie GmbH)	Vorhabenbeginn: 2015
	Vorhabenende (Abschlussdatum): 2017
Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift): STAWAG Energie GmbH Lombardenstraße 12 – 22 52070 Aachen	Veröffentlichungsdatum: 01.02.2017
	Seitenzahl: 45
Gefördert im BMUB-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.	
Kurzfassung (max. 1.500 Zeichen): Die STAWAG Energie GmbH hat bei der Wohnbebauung Wiesental in Aachen eine Heizzentrale errichtet, aus der zwei Wärmepumpen ein städtisches Nahwärmenetz speisen. Als Wärmequelle dient der städtische Abwasserkanal mit einer ganzjährigen Abwassertemperatur von 15 °C. Des Weiteren wird in Unterzentralen der Wohnblöcke mittels Abluftwärmepumpen die Temperatur auf das jeweilige Niveau angehoben. Diese verwenden als Wärmequelle die in den Bädern der Wohnungen abgesaugte Warmluft.	
Schlagwörter: Abwasserwärme, Abwassernutzung, Wärmepumpe, Nahwärmenetz, AWNA, Wärmenutzung, Abluftwärme	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: Elektronischer Datenträger:	Sonstige Medien: Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite:

## Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency:	Project–No.:
Report Title: wastewater heat recovery units AWNA Wiesental	
Author/Authors (Family Name, First Name): Jan Brinkmann (STAWAG Energie GmbH) Christoph Sappa (STAWAG Energie GmbH)	Start of project: 2015
	End of project: 2017
Performing Organisation (Name, Address): STAWAG Energie GmbH Lombardenstraße 12 – 22 52070 Aachen	Publication Date: 1th of February 2017
	No. of Pages: 45
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.	
Summary (max. 1.500 characters): The STAWAG Energie GmbH installed a heat system at Wiesental in Aachen. There are two water-water heat pumps. As the source of heating they use the energy of the water in the drain, yearlong. With double pipelines the pumps are connect with the substations in the residential buildings. In these substations, we installed exhaust heat recovery pumps, using hot air of the bathrooms as heating source.	
Keywords: Wastewater, heat recovery, wastewater unit, heat grid, thermal network, exhaust air	

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>5</b>
1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner .....	5
1.2. Ausgangssituation .....	5
<b>2. Vorhabenumsetzung .....</b>	<b>11</b>
2.1. Ziel des Vorhabens .....	11
2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) .....	11
2.3. Beschreibung der Wärmepumpen .....	14
2.4. Nahwärmeleitung .....	16
2.5. Umsetzung des Vorhabens .....	17
2.6. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen) .....	18
2.7. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten .....	19
2.8. Konzeption und Durchführung des Messprogramms .....	19
<b>3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung .....</b>	<b>20</b>
3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung .....	20
3.2. Stoff- und Energiebilanz .....	20
3.3. Umweltbilanz .....	34
3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse .....	36
3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren .....	37
<b>4. Übertragbarkeit .....</b>	<b>38</b>
4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung .....	38
4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit .....	39
<b>5. Zusammenfassung/ Summary .....</b>	<b>40</b>
<b>6. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>43</b>
<b>7. Anhang .....</b>	<b>44</b>

## I Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Luftbild Liegenschaft Wiesental, Quelle: <a href="http://www.maps.google.de">www.maps.google.de</a> .....	7
Abbildung 2: Schema des Kanalquerschnitts .....	9
Abbildung 3: Kanalquerschnitt .....	10
Abbildung 4: R&I-Schema Wärmetauscher.....	12
Abbildung 5: links: Installation des Wärmetauschers im Abwasserkanal; rechts: Einzelmodule.	12
Abbildung 6: Übersichtsschema der Soleleitung sowie der Nahwärmeleitungen .....	13
Abbildung 7: Abwasserwärmepumpen in der Heizzentrale .....	14
Abbildung 8: Heizungswasserspeicher in der Heizzentrale .....	15
Abbildung 9: Nahwärmeleitung als Doppelrohr .....	17
Abbildung 10: links: Erdarbeiten; rechts: Hauseinführung innen.....	17
Abbildung 11: Bilanzgrenzen der Abwassernutzungsanlage Wiesental .....	21
Abbildung 12: Monitoring des Wärmepumpengesamtsystems .....	23
Abbildung 13: Monitoring der Wärmepumpe I .....	24
Abbildung 14: Monitoring der Wärmepumpe II .....	25
Abbildung 15: Monitoring der Abluftwärmepumpe, Block I .....	28
Abbildung 16: Monitoring der Abluftwärmepumpe, Block II .....	29
Abbildung 17: Monitoring der Abluftwärmepumpe, Block III .....	30
Abbildung 18: Monitoring der Abluftwärmepumpe, Block IV .....	31
Abbildung 19: Stadtgebiet Aachen - Quelle <a href="https://www.tim-online.de">https://www.tim-online.de</a> .....	44
Abbildung 20: Analyse der Temperatursenken.....	<del>47</del> <b>45</b>

## II Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wärmebedarf der Liegenschaften.....	8
Tabelle 2: Technische Eigenschaften der Wärmepumpen .....	16
Tabelle 3: Energieverbrauch und Emissionswerte im Wiesental 1 - 29.....	22
Tabelle 4: Datengrundlage zur Auswertung des Wärmepumpengesamtsystems.....	23
Tabelle 5: Datengrundlage zur Auswertung der Wärmepumpe I.....	24
Tabelle 6: Datengrundlage zur Auswertung der Wärmepumpe II.....	25
Tabelle 7: Datengrundlage zur Auswertung der Abluftwärmepumpe, Block I.....	28
Tabelle 8: Datengrundlage zur Auswertung der Abluftwärmepumpe, Block II.....	29
Tabelle 9: Datengrundlage zur Auswertung der Abluftwärmepumpe, Block III.....	30
Tabelle 10: Datengrundlage zur Auswertung der Abluftwärmepumpe, Block IV.....	31
Tabelle 11: Übersicht der eingesetzten Energie sowie der Wärmearbeit .....	34

## 1. Einleitung

### 1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner

Das Gemeinschaftsprojekt Abwasserwärmenutzungsanlage (AWNA) Wiesental wurde in Zusammenarbeit der Wohnungsgesellschaft gewoge AG und der STAWAG Energie GmbH (STAWAG) realisiert. Die Wohnungsgesellschaft gewoge AG besitzt und verwaltet als größte Wohnungsgesellschaft in Aachen rund 10.000 Wohnungen, von denen etwa 400 im Rahmen des EU-GUGLE Projektes energetisch saniert werden sollen. Während dieser energetischen Sanierung wurde im Zeitraum von 2014 bis 2015 erstmals ein Abwasserwärmenutzungs-system in der Liegenschaft Wiesental in Aachen installiert. Die Stadtwerke Aachen AG als Mutterkonzern der STAWAG Energie GmbH war als regionaler Energie- und Wasserversorger mit der technischen Umsetzung des Projektes konzernweit in allen Projektphasen beteiligt. In Zusammenarbeit mit der FH Aachen wurde das Monitoring des Systems durchgeführt.

### 1.2. Ausgangssituation

Der Hintergrund dieses Projektes ist die Substitution der vorhandenen Gasetagenheizungen (GEH). Aufgrund der hohen Abwassertemperaturen des Aachener Stadtgebiets fiel die Entscheidung auf eine Abwassernutzungsanlage, die als ökologische Alternative geplant und realisiert werden sollte. Der Einsatz der Technologie der Wärmepumpe, mit der die bestehende Energie in Form von Wärme über einen Wärmetauscher entzogen wird und auf eine nutzfähige Heizwassertemperatur anhebt, war dabei die logische Schlussfolgerung. Neben der Primärenergieeinsparung werden durch die Wärmenutzung des Abwassers auch die Kohlenstoffdioxidemissionen (CO<sub>2</sub>) gesenkt.

Neben den üblichen Schmutzwassereinleitern wie Haushalte und Gewerbebetriebe leiten in Aachen auch Thermalquellen in das Entwässerungsnetz ein, weshalb die Abwassertemperatur ganzjährig bei 12 °C bis 20 °C liegt. Der in diesem Projekt verwendete Mischwasserkanal führt die Schmutzwässer von 60.000 Wohneinheiten sowie anfallendes Regenwasser ab. Die genutzte Abwasserwärme dient künftig zur Trinkwarmwasser- und Heizenergieversorgung der Liegenschaften Wiesental 1 – 29, einer naheliegenden Kindertagesstätte und einer Einrichtung zum betreuten Wohnen.

In dem zur Abwasserwärmenutzung verwendeten Mischwasserkanal ist ein Edelstahlwärmetauscher mit einer Länge von 60 m, bestehend aus 100 Wärmetauscher-Elementen mit einer Länge von jeweils 60 cm installiert. Im Abwasserwärmetauscher wird Sole, bestehend aus 100 % Wasser, geführt. Das durch das warme Mischwasser erwärmte Solewasser wird in der Heizzentrale von zwei Abwasserwärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau von ca. 55 °C angehoben. Diese Wärmepumpen haben jeweils zwei Verdichter und eine elektrische Leistungsaufnahme von max. 45,3 kW je Kompressor.

Die Versorgung der Wohnhäuser im Wiesental 1 – 29 sowie der Joseph-von-Görres-Straße 19 erfolgt durch ein neu errichtetes Nahwärmenetz. Die Häuser teilen sich in fünf freistehende

Wohnblöcke auf. In jedem Wohnblock befindet sich eine Unterzentrale mit einem Schichtenspeicher, auf den die Nahwärmeleitungen geführt werden. Zusätzlich steht in jeder Unterzentrale eine Abluftwärmepumpe, die Heizwasser mit ca. 60 °C in den Schichtenspeicher einspeist, und damit die Temperaturverluste des Nahwärmenetzes kompensiert.

Abluft dient als Energiequelle der Wärmepumpen in den Unterzentralen der Wohnblöcke. Die Abluft wird in den Badezimmern der Wohnungen abgesaugt. Die thermische Sanierung der Wohnhäuser hat eine kontrollierte Wohnraumlüftung aus Feuchteschutzgründen notwendig gemacht. Die Abluft der Badezimmer wird gesammelt und zentral im Dachgeschoss über einen Fortluftventilator ausgebracht. In diesem Abluftkanal ist ein Luft-Wasser-Wärmetauscher installiert, welcher der Luft die Wärmeenergie entzieht und einem Solekreislauf zuführt. Diese Sole wird auf den Verdampfer der im Keller stehenden Abluftwärmepumpen geführt. Dabei werden ganzjährig Ablufttemperaturen von ca. 20 °C und Soletemperaturen von ca. 10 °C erreicht.

Nach dem Schichtenspeicher dient ein Wasser-Wasser-Wärmetauscher als Schnittstelle zwischen der STAWAG und der gewoge AG. In den Wohnungen koppeln Wohnungsstationen die Wärme an das Heizungs- und das Trinkwassernetz aus. Da es sich hier um Frischwasserladestationen handelt, fallen diese nicht in den Geltungsbereich einer Großanlage gemäß Trinkwasserverordnung. Somit muss das Trinkwasser nicht zwingend auf 60 °C entsprechend DVGW W 551 aufgeheizt werden. Einhergehend mit dem Einbau der Wohnungsstationen sind die in den 1980er Jahren errichteten Gasetagenheizungen ersetzt worden. Im Endausbauzustand werden 163 Wohnungen der gewoge AG mit Wärme für Heizungswasser und Trinkwarmwasserbereitung versorgt.

Die technische Umsetzung umfasste:

- Machbarkeitsstudien der Abwasserwärmenutzung
- Genehmigungen und Fachplanung der technischen Anlagen
- Energetische Sanierung der Wohneinheiten im Wiesental durch die gewoge AG
- Installation des Wärmetauschers im Abwasserkanal
- Errichtung des Nahwärmenetzes und der Soleleitung
- Aufbau von zwei Abwasserwärmepumpen mit einer thermischen Leistung von jeweils 238 kW sowie Installation von Verteiler, Sammler, Pufferspeicher und Zubehör in der Heizzentrale
- Integration von vier Abluftwärmepumpen mit einer thermischen Leistung von jeweils 12 kW in den Unterzentralen
- Aufbau einer MSR-Anlage zur Regelung und Erfassung des Gesamtsystems und Einführung eines Messprogramms.

Mit der Realisierung des Projektes wird eine Minderung der Kohlenstoffdioxidemission bewirkt, die sich beim Einsatz vom deutschen Strommix im Vergleich zu einer Gasheizung auf ca. 145 Tonnen pro Jahr beläuft.

### 1.2.1. Ausgangssituation

Die Liegenschaft Wiesental befindet sich im Aachener Stadtteil Nord zwischen der Jülicher Straße und der Autobahn 544 in räumlicher Nähe zum Europaplatz. In Abbildung 1 ~~Abbildung 4~~ ist die Lage der einzelnen Liegenschaften auf einem Luftbild dargestellt. Zur besseren Einordnung in den gesamtstädtischen Kontext, ist ein Ausschnitt der Karte des Aachener Stadtgebietes im Anhang Abbildung 24 ~~Abbildung 24~~ zu finden. Die etwa 9.895 m<sup>2</sup> Wohnfläche der 163 Wohneinheiten, welche in den 1970er Jahren errichtet wurden, sind auf fünf Wohnblöcke verteilt. Diese setzen sich zusammen aus vier Wohnblöcken mit Mieteinheiten (Block 1 - 4), einem Block für betreutes Wohnen (Block 5) sowie einer angrenzende Kindertagesstätte. Der Wärmebedarf zur Beheizung und Trinkwarmwasserbereitung aller Gebäude beträgt etwa 860.000 kWh pro Jahr. Detaillierte Angaben zu den Wärmeverbräuchen der einzelnen Gebäude sind in Tabelle 1 dargestellt.



Abbildung 1: Luftbild Liegenschaft Wiesental, Quelle: [www.maps.google.de](http://www.maps.google.de)

Tabelle 1: Wärmebedarf der Liegenschaften

Gebäude	Heizwärmejahresbedarf [kWh/a]	Warmwasserjahresbedarf [kWh/a]	Wärmeleistungsbedarf [kW]
1	133.483	32.231	105
2	133.483	32.231	105
3	133.483	32.231	105
4	121.323	22.242	74
5 (betr. Wohnen)	103.165	29.622	87
6 (Kita)	70.000	17.500	52
Summe	<b>694.937</b>	<b>166.057</b>	<b>528</b>

Zusätzlich zu der Modernisierung der Heizungsanlagen sowie der Warmwassererzeugung wurden durch die gewoge AG als Eigentümer der Liegenschaften weitere Maßnahmen zur wärmetechnischen Sanierung durchgeführt. Dabei sind eine 12 cm dicke Dämmung der Fassadenfläche (035 WLG), eine 22 cm starke Dämmung der Dachfläche (032 WLG) sowie eine 8 cm dicke Dämmung des Fußbodens im Erdgeschoss (040 WLG) durchgeführt worden. Des Weiteren wurden die alten Fenster durch zweifach isoliertes Glas ersetzt und die Haustechnik im Gebäude modernisiert. Diese Maßnahme beinhaltet den Ausbau der GEH sowie den Einbau der Wohnungsübergabestationen und eine kontrollierte Abluftanlage zum Feuchteschutz in den Wohnungen. Diese Wohnungsabluftanlagen dienen zudem als Wärmequellen für die Abluftwärmepumpen.

### 1.2.2. Ausgangslage Abwasser

Der Einbauort des Wärmetauschers im Abwasserkanal wird an einer Stelle realisiert, an der sich der öffentliche Hauptsammler der Stadt Aachen befindet. Der Abwasserkanal ist eine Mischwasser-Freispiegelleitung mit einem Maulprofil. Diese weist einen begehbaren Rohrquerschnitt von 3,20 Meter in der Breite und 2,55 Meter Höhe auf. Diese Abmessungen ermöglichen den nachträglichen Einbau eines Rinnen-Abwasserwärmetauschers, sowie einer Begehung des Kanals. Der Kanalquerschnitt ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Bestandskanal hat folgende Eigenschaften:

- Maulprofil 3,20 m / 2,55 m
- Gefälle 0,2 %
- Schacht-Nr. 07274006 (D 150,05; S 145,71)
- Länge Haltung 1 102,47 m (Schacht-Nr.: 07274040 – 07274006)
- Länge Haltung 2 91,13 m (Schacht-Nr.: 07274006 – 07274005)
- Nachtminimum 300 Liter pro Sekunde

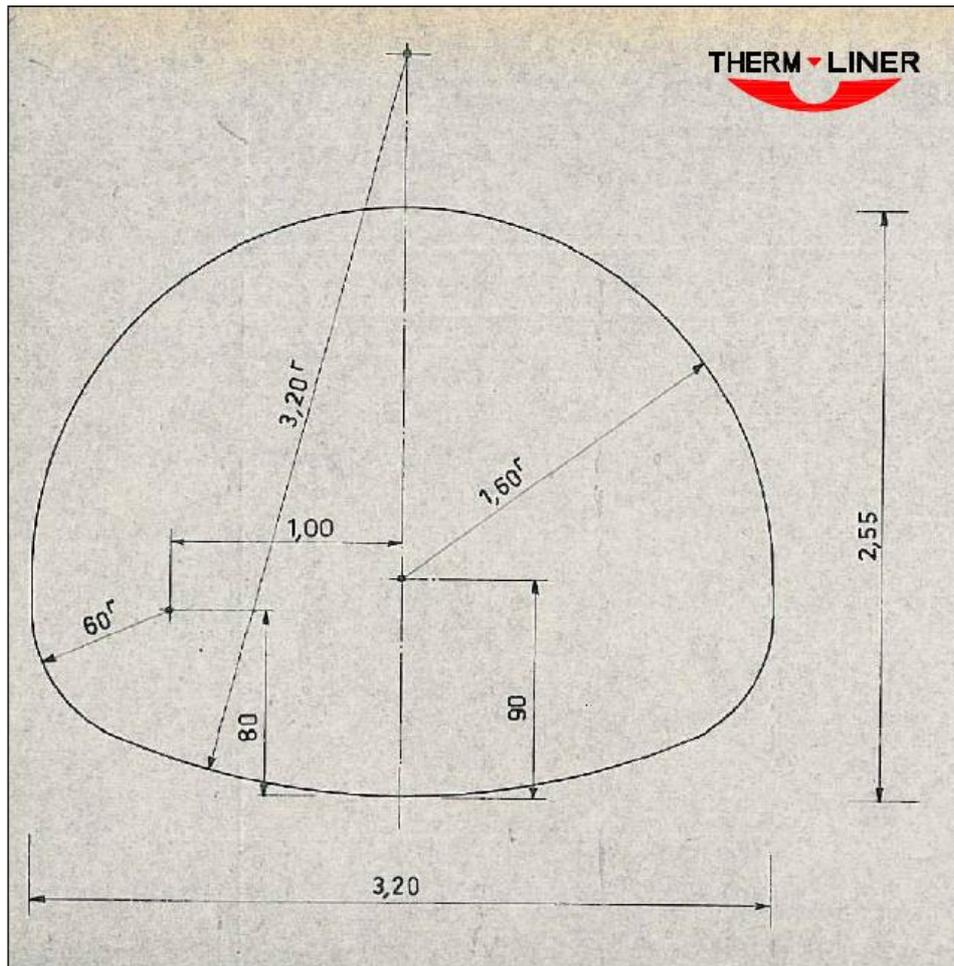


Abbildung 2: Schema des Kanalquerschnitts

Zur Überprüfung, ob das Abwasser jeder Zeit ausreichend Abwärme zur Verfügung stellen kann, wurden im Vorfeld der Projektrealisierung kontinuierliche Messungen der Abwassertemperatur sowie der Durchflussmenge durchgeführt. Die Parameter der Abwassertemperatur und Durchflussmenge wurden im Zeitraum vom 15.11.2009 bis 14.03.2010 aufgenommen. Die Volumenstrommessung für den Trockenwetterabfluss beträgt durchschnittlich 500 Liter pro Sekunde, entsprechend 1.800 m<sup>3</sup> pro Stunde. Das Nachtminimum liegt bei etwa 300 Litern pro Sekunde (ca. 1.100 m<sup>3</sup>/h), welches an durchschnittlich weniger als zwei Stunden pro Tag unterschritten wird. Die Fließgeschwindigkeit beträgt 1,1 Meter pro Sekunde. Auch bei trockenem Wetter beträgt die Abwassertemperatur mindestens 14 °C. Bei starkem Niederschlag sowie in Schneeschmelzperioden sind kurze Absenkungen des Abwassers aufgetreten. Eine detaillierte Darstellung der aufgenommenen Parameter *Abwassertemperatur* und *Volumenstrom* ist im Anhang in [Abbildung 27](#)~~Abbildung 25~~ angefügt.

Da der permanent hohe Volumenstrom die Arbeiten an der Kanalsole nicht ermöglicht, wurde für die Umsetzung des Projekts während der Baumaßnahme ein Kurzschluss gelegt, über den das Abwasser stetig abgepumpt wurde. Somit konnte eine Verlegung der Plattenwärmeübertrager erst ermöglicht werden. Um das Wasser vor der Kurzschlussstrecke aufzustauen ist ein Wehr errichtet worden, wie in [Abbildung 3](#) erkennbar. In dieses Wehr sind

drei Rohrstutzen eingelassen, in denen während der Arbeiten Absperrblasen aufgeblasen wurden, um den Durchfluss zu unterbinden. Die Arbeiten konnten aufgrund der Durchflussmenge an der Kanalsohle jedoch nur innerhalb eines vierstündigen Zeitfensters von 02:00 Uhr bis 06:00 Uhr durchgeführt werden. Bei Starkregen konnten trotz des Kurzschlusses allerdings keine Arbeiten stattfinden. Für die Umleitung des Abwassers vor dem Stauwehr ist das Wasser über das Straßenniveau gepumpt worden, um hinter dem Arbeitsraum wieder eingelassen zu werden. Hierfür wurden drei Stränge mit jeweils einer Pumpe verwendet.



Abbildung 3: Kanalquerschnitt

## 2. Vorhabenumsetzung

### 2.1. Ziel des Vorhabens

Ziel des Vorhabens ist das Ersetzen der Gasetagenheizungen in den Wohnblöcken 1 - 4 durch eine zentrale Abwasserwärmepumpenanlage mit dezentralen Luft-Wasser-Wärmepumpen. Das Wohnhaus 5 zum betreuten Wohnen sowie die Kindertagesstätte werden ebenfalls durch diese Anlage beheizt und zusätzlich in Spitzenlastzeiten durch zwei vorhandene Niedertemperaturgaskessel unterstützt. Diese zwei Gaskessel waren bereits im Bestand des Gebäudes vorhanden und werden weiter betrieben, wenn die AWNA die Solltemperatur von 55 °C nicht erreicht. Die Umschaltung erfolgt automatisch, sodass keine Wärme der Gaskessel an die Wohnblöcke 1 – 4 geliefert wird, wenn die AWNA in Betrieb ist.

Um im Fall einer Havarie des Abwasserwärmetauschers Heizungswärme für alle Wohnhäuser bereitstellen zu können, können die Gaskessel allerdings jederzeit in das System der Abwasserwärmepumpenanlage einspeisen. Für eine solche Havarieschaltung ist die händische Umschaltung von einer Pumpe und zwei Ventilen erforderlich.

Vordergründiges Ziel der gewoge AG ist es, die Vorgaben des EU-GUGLE-Programms durch eine effiziente Wärmeerzeugung zu erfüllen. Für die entsprechenden Primärenergieeinsparungen, hat sich die Abwasserwärmepumpenanlage als wirtschaftlichste Variante dargestellt. Die Wirtschaftlichkeit ist insofern ein wichtiger Gesichtspunkt, da die Nebenkosten der Mieter im Rahmen des Projekts nicht ansteigen sollen.

Die Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage wurde im Rahmen einer Vollkostenrechnung mit einer Laufzeit von 20 Jahren, unter Berücksichtigung von Fördermechanismen des Bundes sowie eines Baukostenzuschusses der gewoge AG, betrachtet.

### 2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Die für den Betrieb der Abwasserwärmepumpen erforderliche thermische Energie wird aus dem Hauptsammler des Abwasserkanals der Stadt Aachen in räumlicher Nähe zu der Liegenschaft Wiesental gewonnen. Das hohe Leistungspotential von über 6.000 kW bei 5 °K Spreizung und einem Abfluss des Nachtminimums von 300 Liter pro Sekunde zeigt, dass die Energiequelle beim Anschluss einer Wärmepumpenanlage noch lange nicht erschöpft ist.

Die Dimensionierung der Anlage basiert auf einer vollständigen Versorgung der angeschlossenen Wohnblöcke mit einer durchschnittlichen Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3,6. Bis auf wenige Ausnahmen ist dieser Wert seit der Inbetriebnahme kontinuierlich in Sommer- wie Wintermonaten erreicht worden, bei einer minimalen JAZ von 3,3. Das ganzjährig hohe Abwassertemperaturniveau dient als Grundstein dieser technischen Lösung. Zusätzlich sind die Wahl des Solemediums und der Größe des gesamten Wärmetauschers im Kanal ausschlaggebend.

### 2.2.1. Wärmetauscher

Die oben genannten Innenmaße des Kanals (Maulprofil 3,20 m / 2,55 m) bieten die Möglichkeit eines nachträglichen Einbaus eines Wärmetauschers. Das Schema des Wärmetauschers sowie dessen Einbau sind in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt. Auf Grundlage des in Kapitel 1.2.2 Ausgangslage Abwasser beschriebenen Nachtabflusses von 300 Litern pro Sekunde ist der Wärmetauscher auf einen Volumenstrom von 220 Litern pro Sekunde (792 Kubikmeter pro Stunde) bei einem minimalen Temperaturniveau von 12,0 °C ausgelegt worden. Die Leistung des Wärmetauschers beträgt bei 100 % Wasser im Solekreislauf 454 kW. Die daraus resultierende Fläche des Wärmetauschers beträgt 151 m<sup>2</sup> unter Verwendung von 100 Einzelmodulen mit einer Länge von jeweils 0,6 Metern.

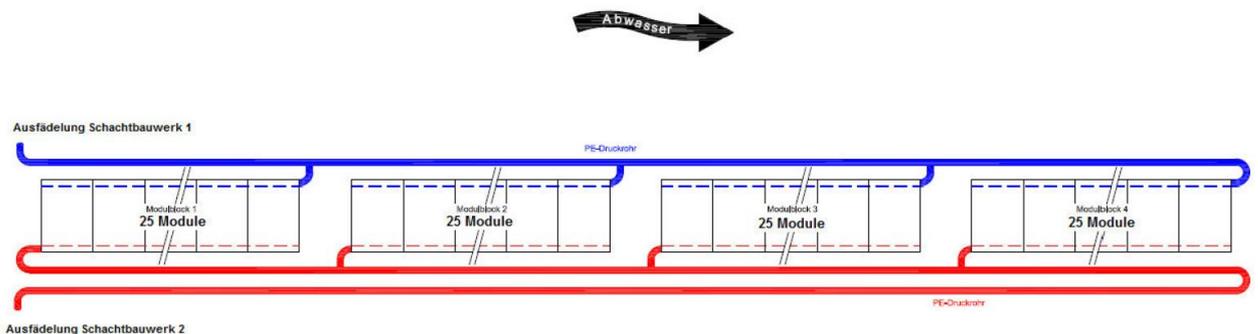


Abbildung 4: R&I-Schema Wärmetauscher

Die Abbildung 4 zeigt schematisch die Verschaltung der Module im Kanalquerschnitt. Es wurden jeweils 25 Module zu einem Block zusammengefasst. Die vier Blöcke sind nach Tichelmann verrohrt, sodass das Wärmetauscher-System hydraulisch abgeglichen ist.

Die Wärmetauscher sind aus 1.4404 Chromstahl. Dieser Stahl weist auch bei einer 1 %-igen Schwefelsäurekonzentration keine Korrosionserscheinungen auf und ist in natürlichen Umweltmedien und Industriegebieten mit mäßigen Chlor- und Salzkonzentrationen uneingeschränkt einsetzbar. Der Schwefelsäureanteil ist im Aachener Abwasser zu berücksichtigen, da die natürlichen heißen Quellen zum Teil direkt eingeleitet werden und einen natürlichen Schwefelwasserstoffgehalt von bis zu 2,5 mg/l aufweisen. Die nachfolgende Abbildung 5 zeigt den Zustand nach dem Einbau des Wärmetauschers im Kanal.



Abbildung 5: links: Installation des Wärmetauschers im Abwasserkanal; rechts: Einzelmodule

### 2.2.2. Soleleitung

Vom Übergabeschacht wird die Sole, die zu 100 % aus Wasser besteht und als Energieträgermedium zwischen Wärmepumpe und Abwasserwärmetauscher zirkuliert, in einer Nahwärmeleitung zur Heizzentrale transportiert. Der Gefrierpunkt von 0 °C wird am Verdampfer der Wärmepumpen nicht unterschritten. Ein Übersichtsschema der verlegten Sole- und Nahwärmeleitungen sind in Abbildung 6 dargestellt. Dabei ist in blau die Soleleitung hervorgehoben worden.

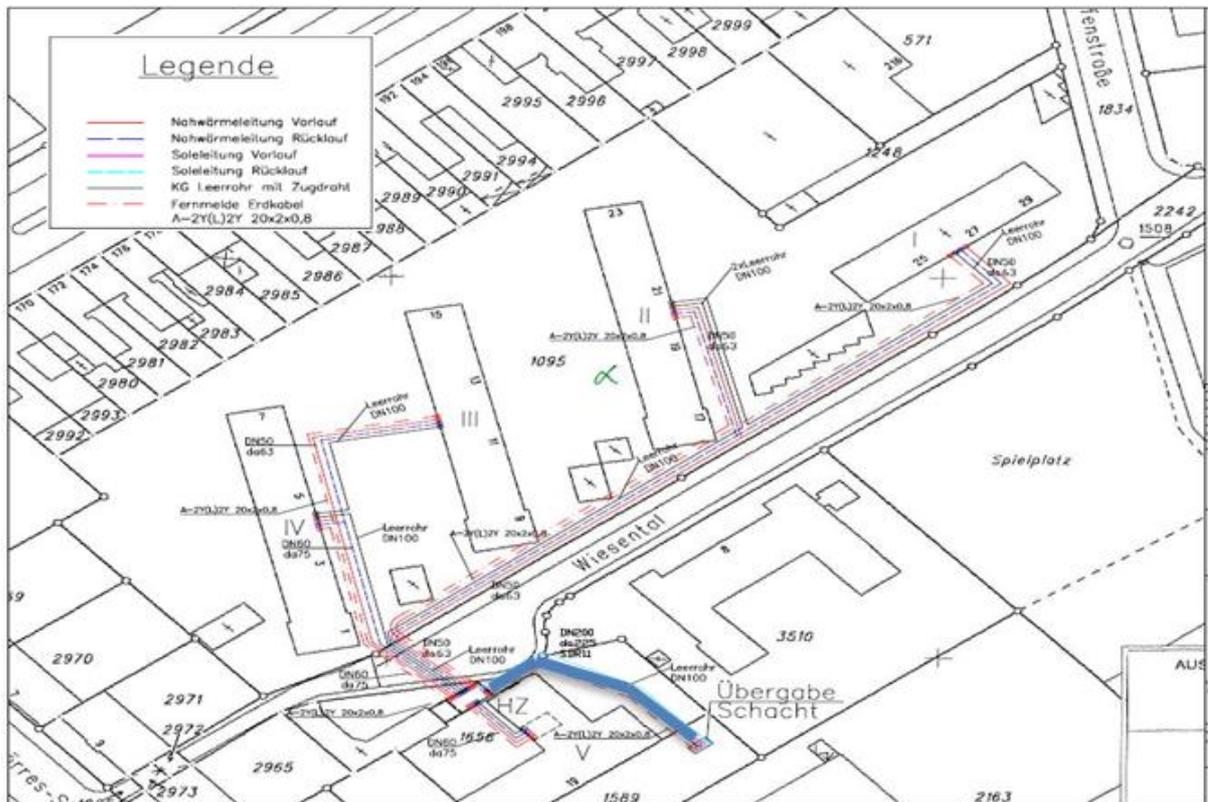


Abbildung 6: Übersichtsschema der Soleleitung sowie der Nahwärmeleitungen

Die eingesetzte Solehauptleitung ist eine PE 100 Kunststoffleitung, mit einer Nennweite von 200 mm. Bei diesem Leitungstyp handelt es sich um eine handelsübliche PE-Trinkwasserleitung. Aufgrund der geringen Medientemperatur von unter 20 °C, der Rohrwandstärke von 20,5 mm sowie der Verlegetiefe von 110 cm ist eine zusätzliche Isolierung nicht notwendig.

## 2.3. Beschreibung der Wärmepumpen

### 2.3.1. Heizzentrale

In der Heizzentrale sind zwei zweistufige Abwasserwärmepumpen mit einer Heizleistung von jeweils 238,1 kW verbaut (s. Abbildung 7~~Abbildung 7~~). Verdampferseitig werden die Wärmepumpen über eine Soleleitung aus dem bereits beschriebenen Abwasserwärmetauscher versorgt.

Betrieben werden die Wärmepumpen mit jeweils zwei Scroll-Hermetic-Kompressoren, die im Parallelbetrieb arbeiten können, wodurch die zweistufige Betriebsweise (50 % und 100 % der Nennleistung) ermöglicht wird. Verdampfer und Verflüssiger sind als gelötete Edelstahl-Plattenwärmetauscher in Gegenstromschaltung ausgeführt.



Abbildung 7: Abwasserwärmepumpen in der Heizzentrale

Die Abwasserwärmepumpen speisen das Heizungswasser zunächst in einen 2.400 Liter fassenden Speicher ein (s. Abbildung 8~~Abbildung 8~~), aus dem das Nahwärmenetz der Wohnblöcke versorgt wird. Der Speicher verbessert den Betrieb der Wärmepumpen, indem ein zu hohes Taktverhalten verhindert wird. Des Weiteren werden Versorgungsengpässe minimiert, insbesondere bei Stoßzeiten der Trinkwarmwasserbereitung.



Abbildung 8: Heizungswasserspeicher in der Heizzentrale

### 2.3.2. Unterkentralen mit Abluftwärmepumpen

In den Unterkentralen der Wohnblöcke 1 - 4 werden Abluftwärmepumpen zur Nachheizung und Kompensation der Netzverluste betrieben. Die Wärmequelle der Wärmepumpen ist der Wärmetauscher des bereits erläuterten Abluft-Sammelkanals im Dachgeschoss. Dort wird die Wärme der Gebäudeabluft entzogen, dadurch ein Wasser-Glykol-Gemisch erwärmt und der im Keller stehenden Wärmepumpen zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich sind in den Kellern Schichtenspeicher mit einem Fassungsvermögen von 720 Litern zur Verbesserung des Laufzeitverhaltens der Abluftwärmepumpen installiert, die auch zur Spitzenlastabdeckung fungieren. Den Schichtenspeichern sind Wärmetauscher nachgeschaltet, die als Schnittstelle zur Kundenseite (gewoge AG) dienen. Dort sind geeichte Wärmemengenzähler installiert, die zur Abrechnung der gelieferten Wärmemenge mit dem Kunden dienen. Die Unterverteilung im Haus auf die einzelnen Wohnungsstationen sowie die Abrechnung mit den Mietern erfolgt durch die gewoge AG.

Die technischen Daten der Wärmepumpen in der Heizzentrale sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

**Tabelle 2: Technische Eigenschaften der Wärmepumpen**

	Hauptzentrale: DS 5235.5T	Block 1: DS5010.5AI	Block 2 – 4: DS5017.5AI
Spannung: Kompressor	400 V, 3 ~, 50 Hz	400 V, 3 ~, 50 Hz	400 V, 3 ~, 50 Hz
Anzahl der Wärmepumpen	2 Stück	1 Stück	3 Stück
Max. Betriebsstrom: Kompressor	2 x 65,4 A	6,0 A	10,3 A
Anzugstrom: Kompressor	375,4 A	38 A	51,5 A
Spannung: Steuerung	230 V, 1 ~, 50 Hz	230 V, 1 ~, 50 Hz	230 V, 1 ~, 50 Hz
Heizleistung	181,5 – 238,1 kW	7,3 – 9,8 kW	13,3 – 17,9 kW
COP (Coefficient of Performance)	4,6 – 5,7	4,9 – 6,8	5,0 – 7,0
Kältemittel / Füllmenge	R410A / 27 kg	R410A / 2,40 kg	R410A / 2,70
Gewicht	1100 kg	155 kg	172 kg
Abmessungen B x H x T, mm	1104 x 1366 x 1044	750 x 1470 x 611	750 x 1470 x 611

### 2.3.3. Unterzentrale Block V – Kessel

In der unterzentrale in Block 5 sind zwei Viessmann Vertomat Gas-Brennwertkessel mit einer thermischen Nennleistung von jeweils 105 kW (80 / 60 °C) verbaut. Die Kessel ermöglichen, wie bereits beschrieben, eine Temperaturanhebung innerhalb des Blocks und können als mögliche Redundanz im Falle einer Havarie des Abwasserwärmetauschers genutzt werden.

### 2.4. Nahwärmeleitung

Bei den Nahwärmeleitungen handelt es sich um flexible, vorisolierte Kunststoff-Doppelrohrleitungen für Erdverlegungen mit der Nennweite DN 50. Die Verlegung dieser Rohre bedeutet einen zeitlichen Vorteil gegenüber der Verlegung zweier Einzelleitungen. Außerdem verringern sich die Wärmeverluste durch die gegenseitige Beeinflussung von Vor- und Rücklauf.

Während Stahlrohrleitungen Lieferlängen bis zu 6 m haben, werden die Kunststoffleitungen auf einer Trommel mit bis zu 80 m Lieferlänge angeboten. Dadurch können entsprechend lange Streckenabschnitte ohne Pressen oder Schweißen verlegt werden, wodurch die Anzahl der Verbindungsstellen, die auch als Schwachstellen bezeichnet werden können, um ein zehnfaches reduziert wird. Abbildung 9 zeigt die verwendete Doppelrohrleitung, die während des Bauablaufs von einem LKW mit Trommelaufsatz abgerollt wird. Die Bauzeit der Rohrleitungsverlegung konnte somit verringert werden.



Abbildung 9: Nahwärmeleitung als Doppelrohr

Für die Einführungen der Nahwärmeleitungen in die Gebäude wurden Kernbohrungen (s. Abbildung 10, rechts) in den Häusern erstellt, die anschließend mit Dichtungen gegen diffundierende Fluide versiegelt wurden.



Abbildung 10: links: Erdarbeiten; rechts: Hauseinführung innen

Zusätzlich zu der verlegten Nahwärmeleitung sowie der Soleleitung wurden im Rahmen der Datenübertragung für die Umsetzung des Monitorings die Fernmelde-Erdkabel (A-2Y(L)2Y 20x2x0,8) verlegt. Diese ermöglichen eine spätere Kommunikation der Unterzentralen mit der Gebäudeleittechnik in der Hauptzentrale Wiesental sowie eine digitale Fernauslesung der Daten.

## 2.5. Umsetzung des Vorhabens

Die Initiierung der Umsetzung des Vorhabens begann mit der ursprünglichen Idee die Abwärme des Aachener Abwassers energetisch zu nutzen. Diese Idee formte sich in der Abwasser-Abteilung der STAWAG. Die Projektplanung begann nach Rücksprachen mit der Stadt Aachen bezüglich der Möglichkeit der Nutzung der Abwärme. Zunächst erfolgte eine Kostenschätzung und eine Konzeptionierung eines Fachplaners (Fa. DSTR Planungsgesellschaft für technische Gebäudeausstattung mbH). Im weiteren Verlauf wurden mögliche Fördermittelgeber bezüglich der finanziellen Unterstützung der Projektrealisierung angesprochen. Daraufhin folgten die Ausführungsplanung sowie die Ausschreibung des Projektes.

Im Zuge des Baus mussten Öltanks demontiert und fachgerecht entsorgt werden, um die Heizzentrale einzurichten. Die Inbetriebnahme der Anlage erfolgte mit der Inbetriebnahme der beiden Abwasserwärmepumpen zum 28.01.2015. Sukzessiv sind anschließend die Wohnhäuser an das Nahwärmenetz angeschlossen worden. Da zeitgleich zum Umschluss an das Nahwärmenetz die Abluftwärmepumpen in den Unterzentralen noch nicht im Betrieb waren, haben die Gaskessel aus Block 5 die Differenz des Wärmebedarfs gedeckt.

Am 25.02.2015 sind die Abluftwärmepumpen in Block 1 und Block 2 in Betrieb gesetzt worden, am 25.01.2016 kamen die die Abluftwärmepumpen in Block 3 und Block 4 hinzu. Im Januar und Februar 2016 mussten die Heizungspumpen der Abwasserwärmepumpen getauscht werden, da der Förderstrom zu gering war und somit nicht die gesamte Leistung Kondensatorseitig abgefahren werden konnte. Durch den Austausch der Umwälzpumpen ist das System seit Februar 2016 so stabil, dass keine Wärme aus den Gaskesseln zur Versorgung der Wohnblöcke 1 - 4 benötigt wird. Dies bedeutet, dass ausschließlich die Wärmepumpen den Wärmebedarf bereitstellen.

#### 2.6. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Zunächst ist darauf hinzuweisen, dass der Solekreislauf des Abwasserwärmetauschers mit enthartetem Wasser gemäß VDI 2035 (Vermeidung von Schäden in Warmwasser-Heizungsanlagen) betrieben wird. Üblicherweise wird in einer solchen Anlage ein Wasser-Glykol-Gemisch verwendet, welches in der Wassergefährdungsklasse I eingestuft ist und somit behördlichen Anforderungen unterliegt. Das verwendete enthärtete Wasser hingegen unterliegt keinen behördlichen Auflagen und ist entsprechend nicht genehmigungsbedürftig. Daraus ist auch zu entnehmen, dass höchste ökologische Anforderungen eingehalten werden, da kein Einsatz wassergefährdender bzw. umweltschädigender Stoffe vorliegt.

Die behördlichen Anforderungen beliefen sich lediglich auf die Umsetzungsphase des Projektes. Dazu zählt das Beantragen von Dienstbarkeiten für die Leitungsverlegung bei der Stadt Aachen sowie das Einholen von Genehmigungen beim Ordnungsamt für die notwendige Nacharbeit aufgrund des o. g. Wasserstandminimums.

## 2.7. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Zur Erfassung der Betriebsdaten stehen zwei unabhängige Systeme zur Verfügung, deren Abgleich die Möglichkeit zur Auffindung von Auffälligkeiten bietet. Die klassische der beiden Varianten ist die manuelle Ablesung von herkömmlichen Strom- und Wärmemengenzählern sowie des Gaszählers (Block 5) in der Haupt- sowie den Unterzentralen. Mit diesen Werten kann der COP (Coefficient of Performance) ermittelt werden, indem die eingesetzte elektrische Arbeit ins Verhältnis zur erzeugten Wärmemenge gesetzt wird.

Die zweite Variante zur Erfassung der Betriebsdaten erfolgt über ein implementiertes Monitoring-Konzept, bei dem über die Displays der Wärmepumpen in der Hauptzentrale und der Unterzentralen in Block 1 – 4 u.a. die folgenden Werte abgelesen werden können:

- Stromverbrauch
- Wärmemenge (Monatswert)
- Wärmemenge (kumuliert)
- Temperaturniveau
- Betriebsstunden
- Verdichterstunden

Die aktuellen Ist-Werte des Monitoring-Systems können permanent über einen Online-Zugang abgerufen werden und ermöglichen somit eine kontinuierliche Überwachung des Betriebszustandes.

Der Erfolg des Projekts hängt letztlich vom Verhältnis der eingesetzten elektrischen Energie zur erzeugten Wärmemenge ab. Die dabei entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen beschränken sich lediglich auf den deutschen Strommix sowie auf den Einsatz der Gaskessel, die wiederum lediglich als „Notfall“-Feuerung angeschlossen sind. Aufgrund des online-basierten Messsystems und einer monatlichen Ablesung der physikalischen Messeinrichtungen findet eine regelmäßige qualitative Kontrolle der Betriebsdaten statt. In den folgenden Unterkapiteln sind die erfassten Verbrauchswerte grafisch sowie tabellarisch dargestellt.

## 2.8. Konzeption und Durchführung des Messprogramms

Wie im vorangegangenen Unterkapitel erläutert, ist ein Monitoring-Konzept integriert, das eine kontinuierliche Überwachung des Betriebs ermöglicht. Für die Durchführung dieses Monitorings wird die STAWAG Energie GmbH durch die Fachhochschule Aachen unterstützt. Die folgenden grafischen Darstellungen des Monitorings unter 3.2.2 liefern einen tieferen Einblick in die Thematik.

### 3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

#### 3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung

Die Umsetzung des Projektes erfolgte weitestgehend problemlos. Lediglich bei den Abluftwärmepumpen in den Unterzentralen sind kleinere Probleme aufgetreten, die identifiziert werden konnten und behoben wurden. Der Einbau einer falschen Armatur (Drosselklappe anstatt Absperrklappe) führte zu einer Kreislaufzirkulation der Abluft, woraus wiederholte Störungen der Abluftwärmepumpen resultierten. Durch den Ausbau der Drosselklappe und den gleichzeitigen Einbau einer luftdichten Absperrklappe ist diese Störung behoben worden.

Ebenfalls ist der beschriebene Austausch der Umwälzpumpen in der Hauptzentrale zu nennen. Die damit einhergehende Fehlerbehebung führte zu ebenfalls einer dauerhaften Lösung, die einen erfolgreichen Betrieb gewährleistet.

#### 3.2. Stoff- und Energiebilanz

Im Folgenden werden die Bilanzgrenzen des Projekts Awna Wiesental definiert und erläutert. Anschließend wird die Wärmeversorgung vor der Erneuerung mit der heutigen Situation verglichen, um die Veränderungen zu verifizieren. Die zugrunde liegenden CO<sub>2</sub>-Emissionswerte sind aus der GEMIS 4.95 entnommen. Im Antrag ist eine Reduktion der THG-Emissionen von jährlich 150 Tonnen angegeben, die mit dem hiesigen Vorhaben der Nutzung der Wärme des Abwassers sogar noch übertroffen werden konnten.

##### 3.2.1. Bilanzgrenzen

Die Bilanzgrenzen sind wie in Abbildung 11 dargestellt definiert. Die Leistungszahl einer Wärmepumpe setzt die bereitgestellte Wärmeleistung ins Verhältnis zur elektrischen Leistungsaufnahme des Kompressors. Die Leistungszahl ist stark von der Wärmequellentemperatur und dem Betriebspunkt der Wärmepumpe abhängig.

## Bilanzgrenzen AWNA Wiesental

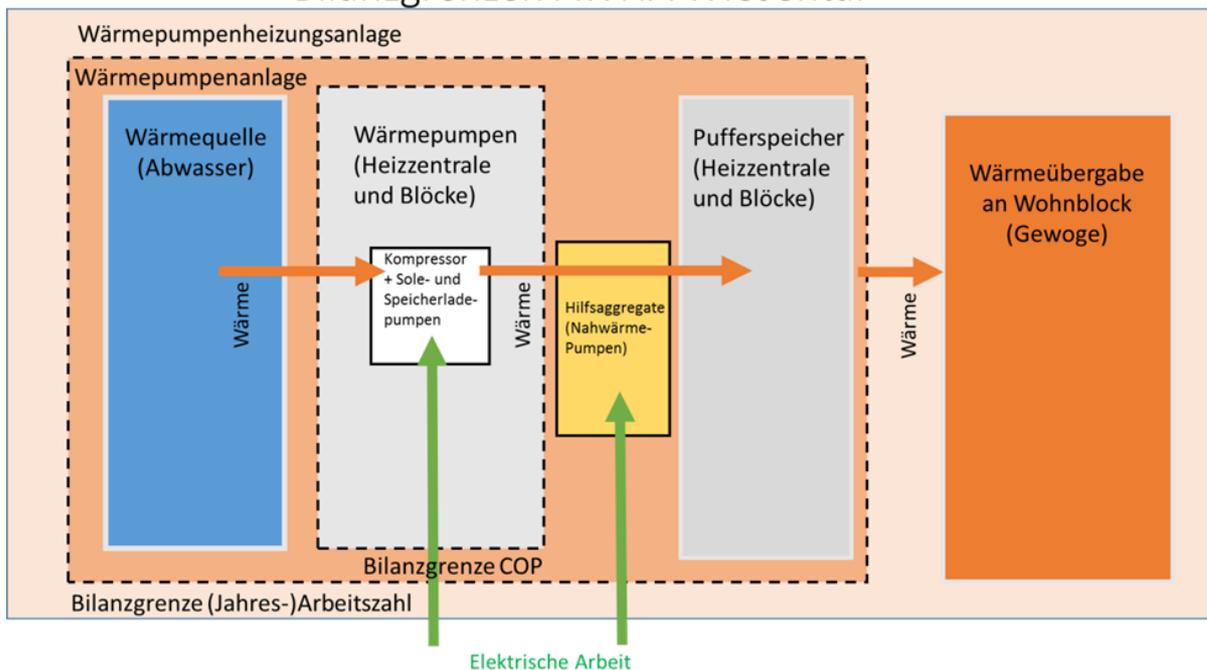


Abbildung 11: Bilanzgrenzen der Abwassernutzungsanlage Wiesental

Im COP-Wert sind zusätzlich auch die Leistungen der Speicherlade- und Sole-Förderpumpen enthalten. Diese sind an die interne Stromversorgung der Wärmepumpen angeschlossen.

Die (Jahres-) Arbeitszahl (JAZ) setzt die über einen längeren Zeitraum (ein Jahr) abgegebene thermische Arbeit einer Wärmepumpenanlage ins Verhältnis zu der zugeführten elektrischen Arbeit. Hierin sind auch die Nahwärmeförderpumpen sowie Speicher- und Leitungsverluste enthalten.

In diesem Bericht wird nur der COP dargestellt, die Bilanzgrenzen also so festgelegt, dass die produzierte Wärme direkt nach den Anlagen und der dafür eingesetzte Strom bilanziert werden. Somit wird eine bessere Vergleichbarkeit mit anderen Anlagen zur Wärmebereitstellung ermöglicht, da bei diesen sowohl äquivalente Verluste anfallen als auch die elektrische Arbeit für Hilfsaggregate in gleicher Höhe entstehen.

### 3.2.2. Vorher-Nachher-Vergleich

Durch die beschriebene Maßnahme sind die dezentralen mit Erdgas befeuerten Etagenheizungen durch eine zentrale Wärmeversorgung, bestehend aus Wärmepumpen ersetzt. Somit wird der Energieträger Erdgas durch elektrische Energie substituiert. Die damit verbundenen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von 565 Gramm CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (deutscher Strommix 2015 der Lebenszyklusbetrachtung von GEMIS 4.95) bedeuten eine Reduktion der Gesamtemissionen. Für die Berechnung zugrunde gelegt sind die gemittelten Werte des jährlichen Gasverbrauchs von 1.290 MWh sowie des Allgemeinstroms von 10.900 kWh/a. Dabei handelt es sich um Mittelwerte des Verbrauchs der Jahre 2011 bis 2013. Diese

Verbräuche sind mit den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionswerten von 565 g/kWh<sub>Strom</sub> sowie 250 kg/MWh<sub>Gas</sub> (GEMIS 4.95) multipliziert worden. Daraus ermittelt sich eine durchschnittliche Emission beim Einsatz der GEH von 322 t<sub>CO2</sub> pro Jahr. Unter Berücksichtigung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen des deutschen Strommixes treten für den heutigen und künftigen Verbrauch lediglich 40% der CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen im Vergleich zum Einsatz der dezentralen Gasthermen auf. Auch beim Einsatz von klimaneutralem Ökostrom würden zumindest netzspezifische Emissionen auftreten. Somit ist eine Minderung von über 200 t<sub>CO2</sub>/a als Anlagenergebnis zu verzeichnen.

**Tabelle 3: Energieverbrauch und Emissionswerte im Wiesental 1 - 29**

	2011	2012	2013	heute
<b>Gasverbrauch</b>	1.141 MWh/a	1.331 MWh/a	1.394 MWh/a	0 MWh/a
<b>spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>	250 kg/MWh	250 kg/MWh	250 kg/MWh	250 kg/MWh
<b>Stromverbrauch</b>	10.700 kWh/a	10.800 kWh/a	11.200 kWh/a	211.888 kWh/a
<b>spez. CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>	565 g/kWh	565 g/kWh	565 g/kWh	565 g/kWh
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>	285.250 kg <sub>CO2</sub>	332.750 kg <sub>CO2</sub>	348.500 kg <sub>CO2</sub>	119.717 kg <sub>CO2</sub>

### 3.2.3. Betrachtung der Einzelanlagen

Im Folgenden werden der durchschnittliche COP der einzelnen Wärmepumpen, die erzeugte Wärme und der benötigte Strom für die Monate des Berichtszeitraums dargestellt. Die Monatswerte für die elektrische und thermische Arbeit stammen aus den Zählern der Wärmepumpenanlagen.

Der COP wird wie folgt berechnet:

$$COP = \frac{\text{erzeugte Wärme [kWh]}}{\text{eingesetzter elektrischer Strom [kWh]}}$$

In der elektrischen Arbeit der Wärmepumpen sind die Quellenpumpen und somit auch die Hilfsenergie mit berücksichtigt.

Das „Tabellenbuch - Sanitär, Heizung, Klima/Lüftung“ (Ihle, C., Bader, R., & Golla, M. (2015)) gibt unter 507.5 für Sole-Wasser-Wärmepumpen mit einer Soletemperatur von 15 °C sowie einer Vorlauftemperatur von 55 °C eine Leistungskennzahl von knapp über 3,5 an, welche in der betrachteten Anlage mit einem COP von 3,4 respektive 3,6 nahezu erreicht wird. Allgemeiner gehalten zeigt 507.4 auf, dass Leistungskennzahlen zwischen drei und vier im „grünen Bereich“ liegen. Des Weiteren gilt nach 507.3 eine durchschnittliche JAZ von 3,8 für Wasser/Wasser, die nur leicht oberhalb des vorliegenden Wertes liegt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch das Nutzerverhalten den COP beeinflusst.

## Wärmepumpen im Gesamtsystem

Abbildung 12 und Tabelle 4 zeigen die Monatsleistungen des Gesamtsystems aller Wärmepumpen im Zeitraum Januar 2016 bis August 2016. Die JAZ beträgt im Betrachtungszeitraum 3,6.

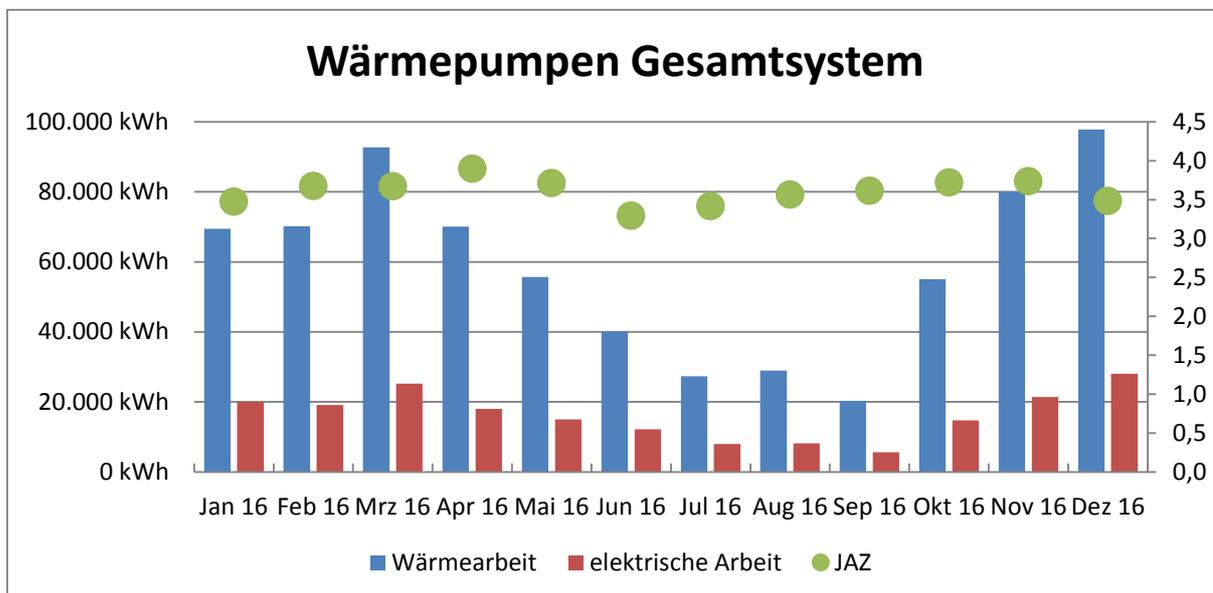


Abbildung 12: Monitoring des Wärmepumpengesamtsystems

In der Grafik ist zu erkennen, dass die Wärmearbeit in den Monaten Januar und Februar geringer ist, als im März. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in Block V bei Unterschreitung einer Grenztemperatur die Versorgung über die Gaskessel einspringt. Dabei wird die Verbindung zur Wärmepumpenanlage automatisch geschlossen.

Da Block V nicht wie alle anderen Wohnblöcke thermisch saniert worden ist, ist eine zusätzliche Beheizung über einen Gaskessel stets erforderlich. Des Weiteren wurden die Gerätekreisumpen der Abwasserwärmepumpen getauscht.

Tabelle 4: Datengrundlage zur Auswertung des Wärmepumpengesamtsystems

Monat	Wärmearbeit	elektrische Arbeit	JAZ
Jan 16	69.411 kWh	19.993 kWh	3,5
Feb 16	70.195 kWh	19.102 kWh	3,7
Mrz 16	92.658 kWh	25.235 kWh	3,7
Apr 16	70.112 kWh	17.987 kWh	3,9
Mai 16	55.717 kWh	15.018 kWh	3,7
Jun 16	35.598 kWh	11.366 kWh	3,1
Jul 16	26.217 kWh	8.155 kWh	3,2
Aug 16	26.706 kWh	8.399 kWh	3,2
Sep 16	26.464 kWh	8.022 kWh	3,3
Okt 16	61.441 kWh	18.491 kWh	3,3
Nov 16	88.494 kWh	26.181 kWh	3,4
Dez 16	105.053 kWh	33.939 kWh	3,1

## Abwasserwärmepumpen

Die Abwasserwärmepumpen I + II des Fabrikats Waterkotte vom Typ DS5235.5T mit der thermischen Leistung von 238,1 kW<sub>th</sub> stehen in der Heizzentrale im Wiesental und sind die Hauptwärmeerzeuger zur Versorgung des Nahwärmenetzes. Die bisher geleistete Wärmearbeit ist im Nachfolgenden dargestellt. Als Wärmequelle fungiert wie eingangs beschrieben ein städtischer Abwasserkanal.

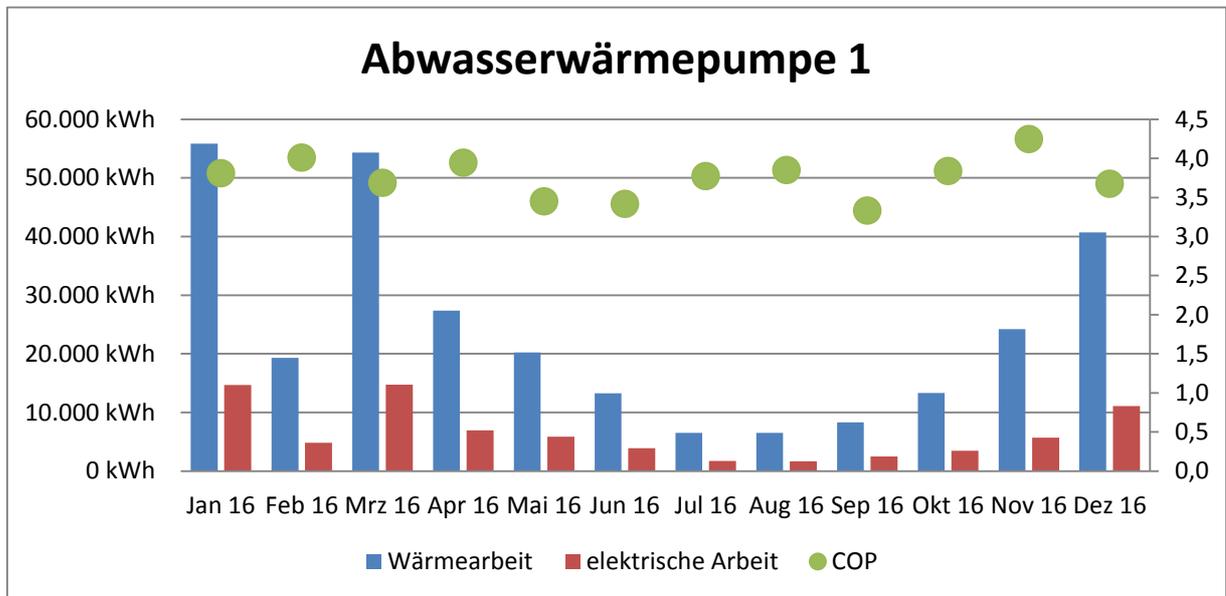


Abbildung 13: Monitoring der Wärmepumpe I

Tabelle 5: Datengrundlage zur Auswertung der Wärmepumpe I

Monat	Wärmearbeit	elektrische Arbeit	COP
Jan 16	55.822 kWh	14.660 kWh	3,8
Feb 16	19.300 kWh	4.814 kWh	4,0
Mrz 16	54.341 kWh	14.741 kWh	3,7
Apr 16	27.365 kWh	6.938 kWh	3,9
Mai 16	20.231 kWh	5.863 kWh	3,5
Jun 16	13.247 kWh	3.879 kWh	3,4
Jul 16	6.500 kWh	1.724 kWh	3,8
Aug 16	6.500 kWh	1.688 kWh	3,9
Sep 16	8.295 kWh	2.491 kWh	3,3
Okt 16	13.334 kWh	3.474 kWh	3,8
Nov 16	24.200 kWh	5.699 kWh	4,2
Dez 16	40.716 kWh	11.080 kWh	3,7

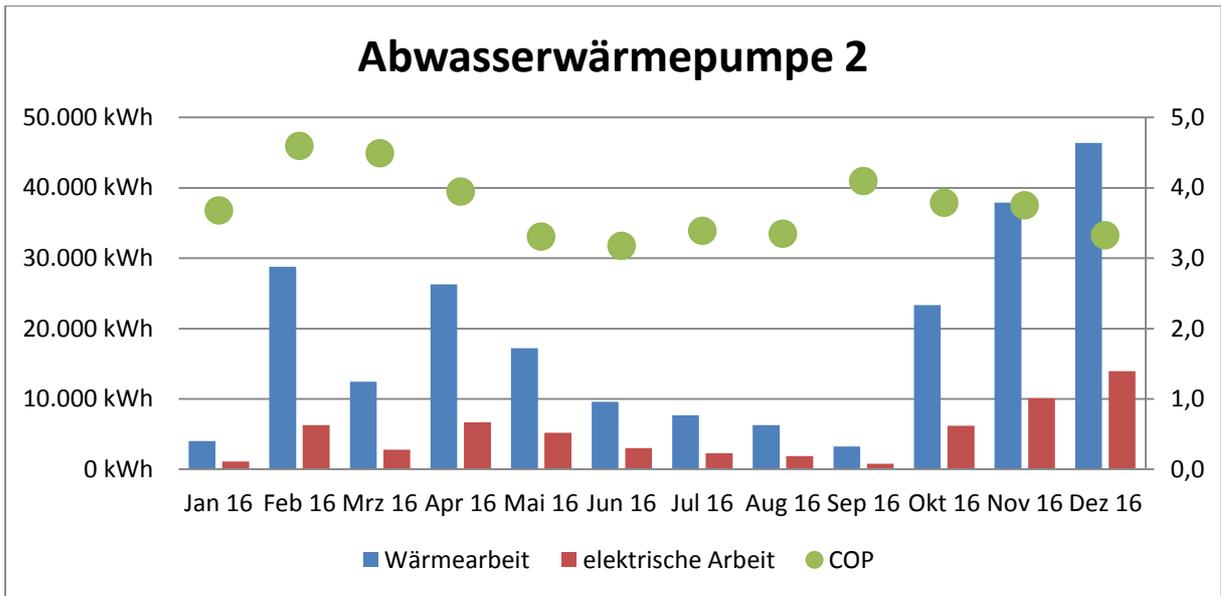


Abbildung 14: Monitoring der Wärmepumpe II

Tabelle 6: Datengrundlage zur Auswertung der Wärmepumpe II

Monat	Wärmearbeit	elektrische Arbeit	COP
Jan 16	4.028 kWh	1.095 kWh	3,7
Feb 16	28.767 kWh	6.263 kWh	4,6
Mrz 16	12.474 kWh	2.778 kWh	4,5
Apr 16	26.308 kWh	6.669 kWh	3,9
Mai 16	17.232 kWh	5.215 kWh	3,3
Jun 16	9.596 kWh	3.022 kWh	3,2
Jul 16	7.700 kWh	2.275 kWh	3,4
Aug 16	6.300 kWh	1.884 kWh	3,3
Sep 16	3.228 kWh	789 kWh	4,1
Okt 16	23.364 kWh	6.172 kWh	3,8
Nov 16	37.900 kWh	10.106 kWh	3,8
Dez 16	46.371 kWh	13.950 kWh	3,3

Deutlich zu erkennen sind die Leistungsdefizite der Abwasserwärmepumpe 1 im Februar und der Abwasserwärmepumpe 2 im Januar. In diesen Monaten sind auf der Heizungsseite die Gerätekreispumpen der Wärmepumpen ausgetauscht worden, da der Förderstrom der Pumpen zu gering war.

## Abluftwärmepumpen Wohnblock I – IV

Im Folgenden sind die Monatswerte der Abluftwärmepumpen aus den Unterzentralen der Wohnblöcke dargestellt. Dabei wurden bis einschließlich Mai 2016 die Werte aus den Displays der Wärmepumpen abgelesen. Nach eingehender Analyse zu diesem Zeitpunkt wurde festgestellt, dass die Angaben nicht der gewünschten Genauigkeit entsprechen, weshalb ab Juni 2016 die geeichten Wärmemengenzähler sowie die ebenfalls geeichten Stromzähler für das Monitoring verwendet werden.

Nachteil bei den auf dem Display abgelesenen Werten ist, dass es sich hierbei nicht ausschließlich um Messwerte, sondern auch um errechnete Werte handelt. So wird z.B. die elektrisch aufgenommene Arbeit aus den tatsächlichen Kompressor-Betriebsstunden und einer im Programm hinterlegten Aufnahmeleistung des Kompressors berechnet. Die errechnete elektrische Arbeit dient dann als Grundlage des COP. Die in den Abluftwärmepumpen installierten Sole- und Heizkreis-Umwälzpumpen finden in dieser Betrachtung jedoch keine Anwendung, was den COP im Display zunächst besser darstellt, als er in Wirklichkeit ist, weil nach VDI 4650 die Solekreispumpe im COP mit zu berücksichtigen ist, was dann im Display keine Anwendung findet. Bei den auf dem Stromzähler abgelesenen Werten wird jedoch die Heizkreis-Umwälzpumpe mit betrachtet, die nach VDI 4650 wiederum keine Anwendung in der Betrachtung des COP findet.

Trotz dieser genannten Umstände hat man sich dazu entschieden die Zählerwerte aufzunehmen, da es sich hier um geeichte Zähler und nicht um errechnete Werte handelt.

Im Wesentlichen dienen die Wärmepumpen dazu, die Verluste des Nahwärmenetzes zu kompensieren. In jedem Wohnblock ist unter dem Dach ein zentraler Abluftkanal. Dort ist ein Wärmetauscher installiert, durch welchen Sole, hier 100 % Wasser, zirkuliert und den Wärmepumpen als Wärmequelle dient. Die Soletemperatur liegt am Eintritt der Wärmepumpen bei ca. 10 °C, die Wärmepumpen koppeln auf der Verflüssigerseite dann 45 °C warmes Heizungswasser aus. Ohne diese Abluftwärmepumpen wäre eine Heizungswasser-Temperatur auf der Kundenseite des Wärmetauschers von ca. 50 °C nicht erreichbar, die notwendig ist, um eine dezentrale Trinkwassererwärmung zu ermöglichen.

Im Rahmen der ersten Betriebsphase der Abluftwärmepumpen haben sich Probleme mit der bauseits vorhanden Lüftungsanlage gezeigt. Der Wärmetauscher unter dem Dach muss aufgrund einer baugenehmigungsrelevanten Forderung im Brandfall zu Entrauchungszwecken umströmt werden können. Dazu wurde ein Kurzschluss gebaut, der durch eine Klappe verschlossen ist, die nur im Brandfall geöffnet wird. Aufgrund eines Lieferfehlers wurden Drosselklappen anstatt luftdichter Absperrklappen eingebaut. Somit hat sich die Kurzschlussströmung ständig eingestellt, was zu einem kontinuierlichen Abkühlen der Abluft führte. Dieser Mangel wurde durch Austausch der Klappen im August 2016 behoben. Nach diesem Klappenaustausch ist ein problemloser Betrieb der Anlagen eingetreten.

Die Wohnhäuser sind siebengeschossig, wobei Abluftwärmepumpen im Keller und die Abluft-

Wärmetauscher unter dem Dach aufgebaut sind. Für den Wärmetransport fungiert eine Soleleitung. An oberster Stelle sind handelsübliche automatische Entlüfter eingebaut worden, die nicht nur Luft bei Überdruck emittieren sondern auch bei Unterdruck Luft ansaugen. Zudem ist der Vordruck des Ausdehnungsgefäßes nicht an den statischen Höhenunterschied angepasst worden, sondern im Auslieferungszustand von 1,0 bar (Überdruck) belassen worden. Zudem hat die Soleleitung keine automatische Befülleinrichtung. Diese Kombination hat dazu geführt, dass sich im Wärmetauscher unter dem Dach sogenannte Luftsäcke gebildet haben, die von der Solepumpe nicht mehr überwunden worden sind. Daraus folgt, dass der soleseitige Durchflusswächter der Wärmepumpe Störungen ausgelöst hat. Dieser Fehler ist jedoch nicht durchgängig bei allen Wärmepumpen aufgetreten. Zum Teil war der Durchfluss nicht ausreichend, sodass der Kältemittelseitige Hochdruckschalter ausgelöst wurde. Aufgrund der unterschiedlichen Störungen konnte der Ursprung zwar der Wärmequelle zugeordnet, der Fehler jedoch erst Anfang Januar 2017 genau lokalisiert werden. Hierzu war es notwendig, mit den verschiedenen involvierten Gewerken gemeinsam die Fehleranalyse durchzuführen.

In der KW 4 2017 werden die vier Abluftwärmepumpenanlagen soleseitig hergerichtet, sodass die Fehlerquelle abgestellt wird. Dafür werden die Soleleitungen der Wärmepumpen an das Heizungssystem angeschlossen, sodass die Druckhaltestation dieses System ebenfalls ständig auf 2,0 bar hält. Es wird ein absperrender Kurzschluss ½" in der Rücklaufleitung hergestellt, damit sich das Heizungs- und Solesystem hydraulisch nicht beeinflussen. Eine direkte Verbindung ist nur möglich, da im Solesystem 100 % Wasser und kein Glykol enthalten ist. Des Weiteren wird der soleseitige Vordruck der Ausdehnungsgefäße in den Wärmepumpen auf 1,7 bar Überdruck eingestellt und die automatischen Entlüfter unter Dach werden getauscht.

Diese Maßnahmen sollten dazu führen, dass die Abluftwärmepumpen in Zukunft stabil betrieben werden können und somit das Gesamtsystem der Wärmepumpenanlage positiv beeinflussen.

## Abluftwärmepumpe Wohnblock I

Die Abluftwärmepumpe im Wohnblock I war lange aufgrund einer defekten Kältemittelleitung außer Betrieb. Diese ist am 02.05.2016 instand gesetzt worden, wodurch eine stabile Anlagenfunktion hergestellt wurde. Die monatlichen Leistungen sind in der folgenden Grafik und Tabelle dargestellt.

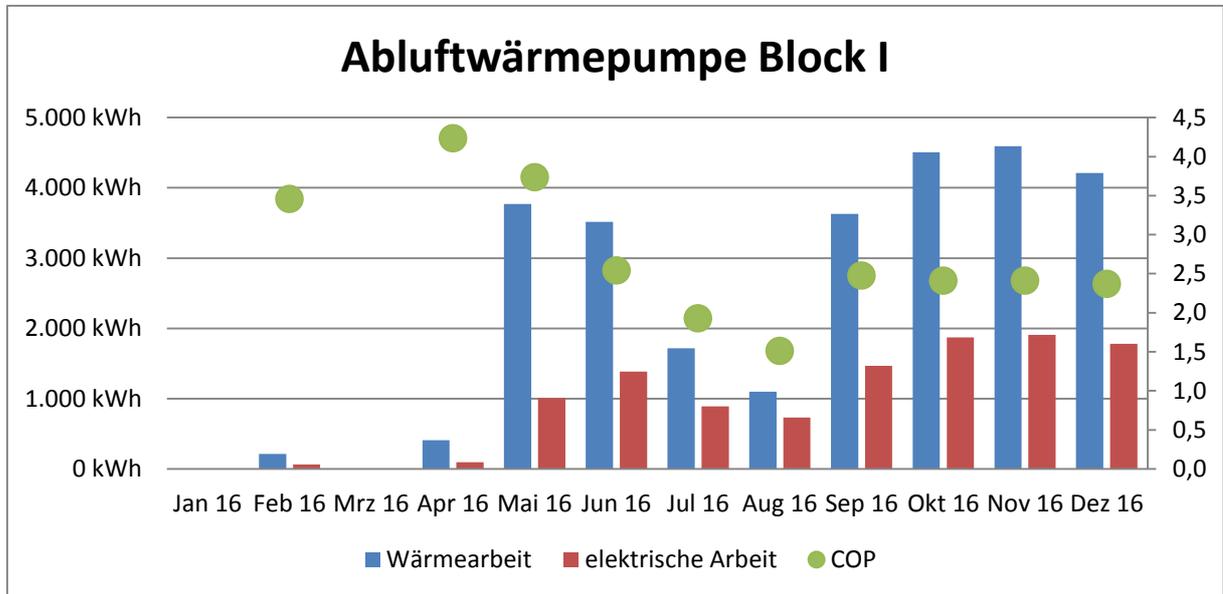


Abbildung 15: Monitoring der Abluftwärmepumpe, Block I

Tabelle 7: Datengrundlage zur Auswertung der Abluftwärmepumpe, Block I

Monat	Wärmearbeit	elektrische Arbeit	COP
Jan 16	4.028 kWh	1.095 kWh	3,7
Feb 16	28.767 kWh	6.263 kWh	4,6
Mrz 16	12.474 kWh	2.778 kWh	4,5
Apr 16	26.308 kWh	6.669 kWh	3,9
Mai 16	17.232 kWh	5.215 kWh	3,3
Jun 16	3.516 kWh	1.385 kWh	2,5
Jul 16	1.717 kWh	891 kWh	1,9
Aug 16	1.099 kWh	729 kWh	1,5
Sep 16	3.630 kWh	1.467 kWh	2,5
Okt 16	4.507 kWh	1.870 kWh	2,4
Nov 16	4.594 kWh	1.907 kWh	2,4
Dez 16	4.210 kWh	1.779 kWh	2,4

## Abluftwärmepumpe Wohnblock II

Die Abluftwärmepumpe im Wohnblock II weist, wie in der folgenden Abbildung erkennbar, viele Schwankungen und einen vergleichsweise niedrigen COP auf. Trotzdem werden die Wohnungen dieses Blocks mit ausreichen Raumwärme sowie Warmwassertemperaturen versorgt, so dass keine Veränderungen im Wohnkomfort auftreten. Dies ist auf das funktionierende Gesamtsystem zurückzuführen.

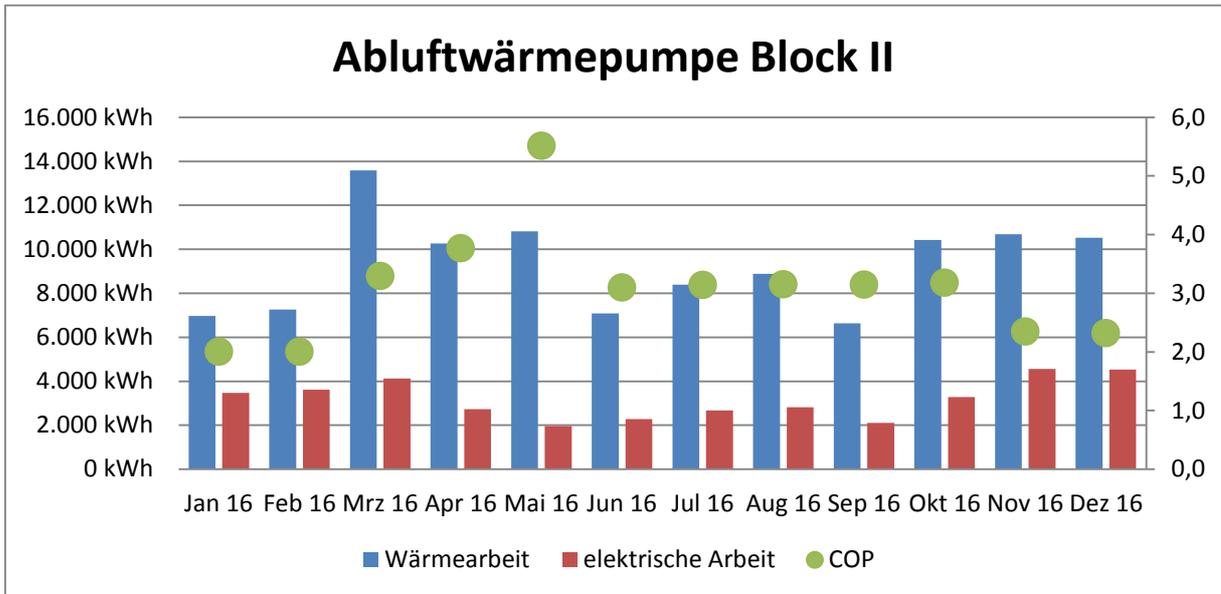


Abbildung 16: Monitoring der Abluftwärmepumpe, Block II

Tabelle 8: Datengrundlage zur Auswertung der Abluftwärmepumpe, Block II

Monat	Wärmearbeit	elektrische Arbeit	COP
Jan 16	6.965 kWh	3.473 kWh	2,0
Feb 16	7.255 kWh	3.621 kWh	2,0
Mrz 16	13.580 kWh	4.123 kWh	3,3
Apr 16	10.258 kWh	2.725 kWh	3,8
Mai 16	10.817 kWh	1.961 kWh	5,5
Jun 16	7.083 kWh	2.286 kWh	3,1
Jul 16	8.392 kWh	2.673 kWh	3,1
Aug 16	8.884 kWh	2.820 kWh	3,2
Sep 16	6.634 kWh	2.110 kWh	3,1
Okt 16	10.420 kWh	3.278 kWh	3,2
Nov 16	10.682 kWh	4.557 kWh	2,3
Dez 16	10.519 kWh	4.535 kWh	2,3

## Abluftwärmepumpe Wohnblock III

Die im Wohnblock III installierte Abluftwärmepumpe weist über einen längeren Zeitraum einen sehr stabilen Zustand auf. Lediglich zum Ende des Jahres ist der COP abgesunken bzw. die Laufzeit stark gefallen. Wie in Block II sind auch hier keine erkennbaren Probleme bei der Wärmebereitstellung in den Wohnungen aufgetreten, da durch die Abwasserwärmepumpen ausreichend Wärmeenergie bereitgestellt wird.

Der Dezemberwert mit einem COP unter 0,2 ist auf einen Defekt an der Wärmepumpe zurückzuführen, der Anfang Januar behoben wurde. In diesem Zeitraum wurde die notwendige Restwärme über den im Speicher installierten Heizstab geliefert.

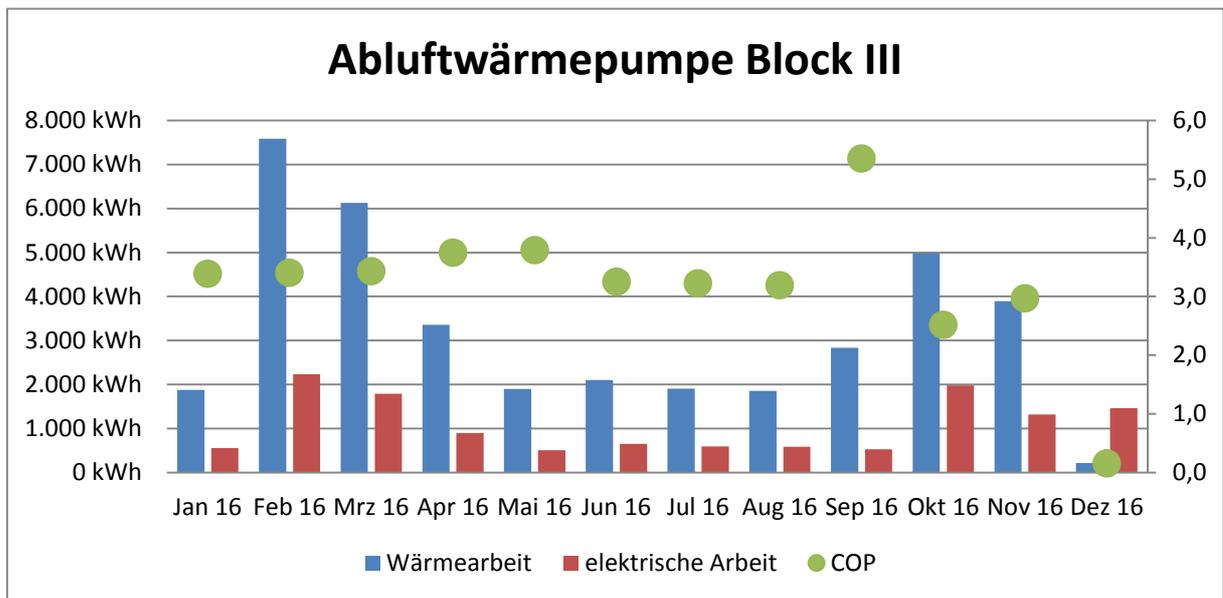


Abbildung 17: Monitoring der Abluftwärmepumpe, Block III

Tabelle 9: Datengrundlage zur Auswertung der Abluftwärmepumpe, Block III

Monat	Wärmearbeit	elektrische Arbeit	COP
Jan 16	1.880 kWh	556 kWh	3,4
Feb 16	7.590 kWh	2.232 kWh	3,4
Mrz 16	6.131 kWh	1.789 kWh	3,4
Apr 16	3.358 kWh	897 kWh	3,7
Mai 16	1.901 kWh	502 kWh	3,8
Jun 16	2.104 kWh	648 kWh	3,2
Jul 16	1.908 kWh	592 kWh	3,2
Aug 16	1.855 kWh	582 kWh	3,2
Sep 16	2.835 kWh	530 kWh	5,3
Okt 16	4.979 kWh	1.980 kWh	2,5
Nov 16	3.896 kWh	1.315 kWh	3,0
Dez 16	216 kWh	1.462 kWh	0,1

## Abluftwärmepumpe Wohnblock IV

Die Abluftwärmepumpe im Wohnblock IV ist im Juni nahezu und im Juli 2016 vollständig außer Betrieb gewesen (s. Abbildung). Trotzdem wurde kontinuierlich ein hoher COP erreicht. Die hier sehr deutlich erkennbaren Veränderungen des COPs vom Jahresanfang zum Jahresende sind auf die bereits erläuterten Gründe der Ablesung bzw. Zählerwerte zurückzuführen.

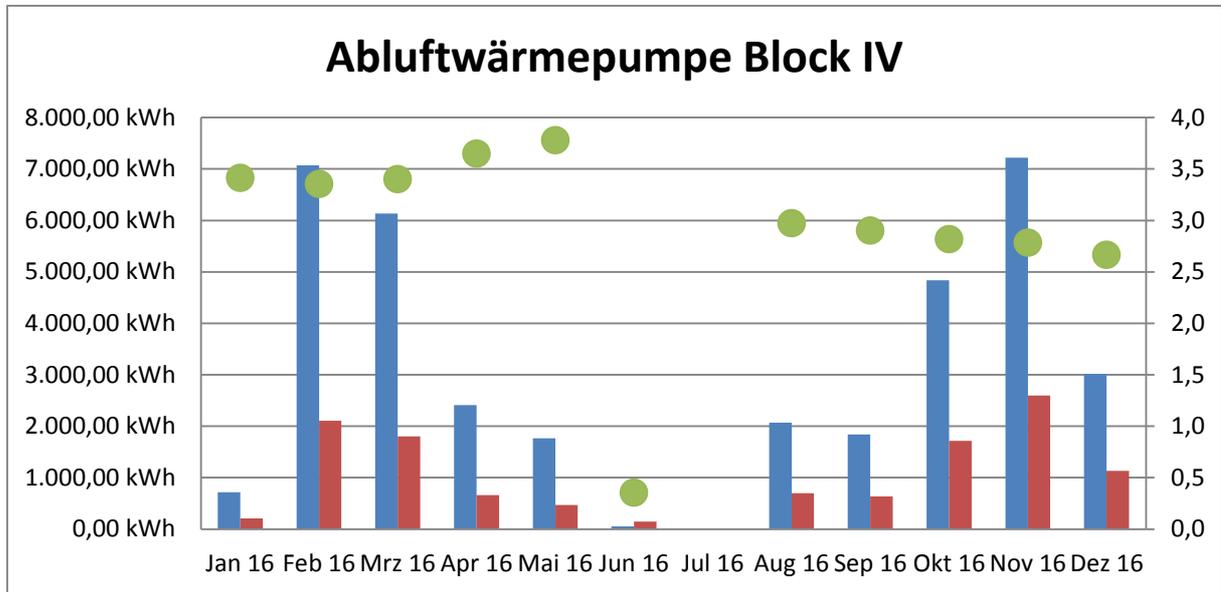


Abbildung 18: Monitoring der Abluftwärmepumpe, Block IV

Tabelle 10: Datengrundlage zur Auswertung der Abluftwärmepumpe, Block IV

Monat	Wärmearbeit	elektrische Arbeit	COP
Jan 16	715,90 kWh	209,90 kWh	3,4
Feb 16	7.069,50 kWh	2.109,70 kWh	3,4
Mrz 16	6.131,50 kWh	1.803,40 kWh	3,4
Apr 16	2.411,90 kWh	661,10 kWh	3,6
Mai 16	1.764,50 kWh	467,20 kWh	3,8
Jun 16	52 kWh	147 kWh	0,4
Jul 16	0 kWh	0 kWh	0,0
Aug 16	2.068 kWh	696 kWh	3,0
Sep 16	1.842 kWh	635 kWh	2,9
Okt 16	4.836 kWh	1.717 kWh	2,8
Nov 16	7.222 kWh	2.596 kWh	2,8
Dez 16	3.021 kWh	1.134 kWh	2,7

## Abwasserwärmeübertrager

Die folgende Abbildung zeigt die Abwassertemperatur im Kanal vor dem Wärmeübertrager (rote Kurve) und die Sole-Vorlauftemperatur der Abwasserwärmepumpe II (blaue Kurve) sowie deren Temperaturunterschied (grün) beispielhaft über zehn Tage im Mai 2016. Die Solevorlauftemperatur liegt während des einstufigen Betriebs der AWWP kontinuierlich mindestens ein, maximal vier Kelvin unterhalb der Abwassertemperatur. Dies trifft innerhalb der gesamten Schwankungsbreite der Abwassertemperatur zu. Der Jahresmittelwert beträgt dabei 2,4 Kelvin.

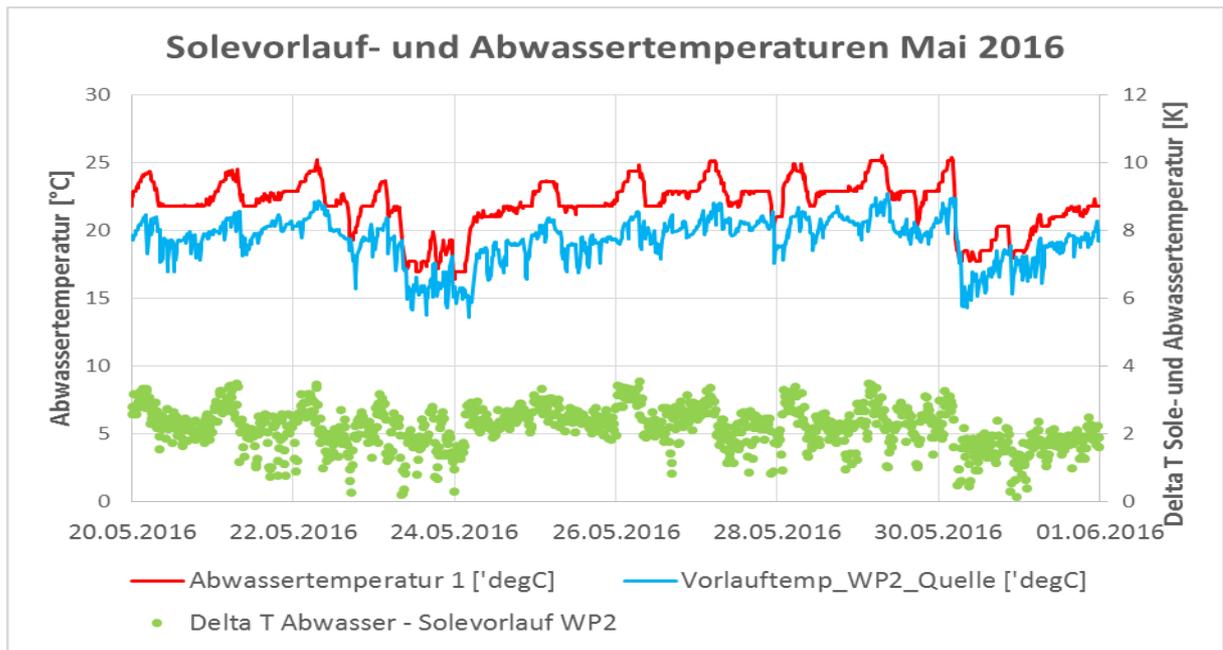


Abbildung 19: Solevorlauf- und Abwassertemperaturen Mai 2016

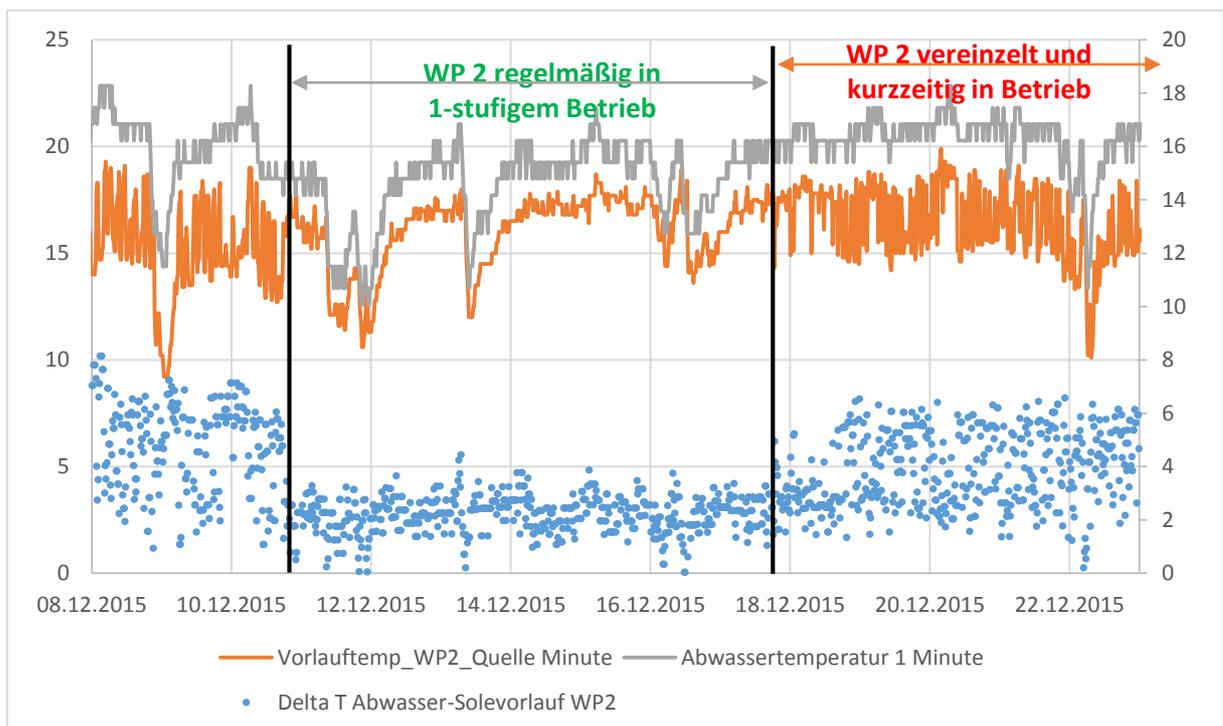


Abbildung 20: Solevorlauf- und Abwassertemperaturen Dezember 2015

In der Abbildung 20 wird der Temperaturverlauf der Medien im Dezember 2015 dargestellt. Hier ist ebenfalls erkennbar, dass die Soletemperatur im zweistufigen Betrieb der Wärmepumpe bis maximal sechs Kelvin unterhalb der Abwassertemperatur liegt.

In Abbildung 21 sind Niederschlagshöhen (blaue Kurve) und Abwassertemperaturen nach dem Wärmeübertrager (rote Kurve) dargestellt.

Äquivalent zu den Erwartungen der Untersuchungen im Vorfeld des Projektes sinkt die Abwassertemperatur nach Niederschlagsereignissen um bis zu 9 Kelvin, zeitlich versetzt, ab. Punktuell (kleiner 30 Minuten) sinkt die Abwassertemperatur auf bis zu 8 °C (im Januar) ab. Im Mittel liegt die Abwassertemperatur selbst im Januar bei 18-20 °C. Eine Auswirkung der schwankenden Abwassertemperaturen auf den COP der AWWP ist bisher nicht zu erkennen.

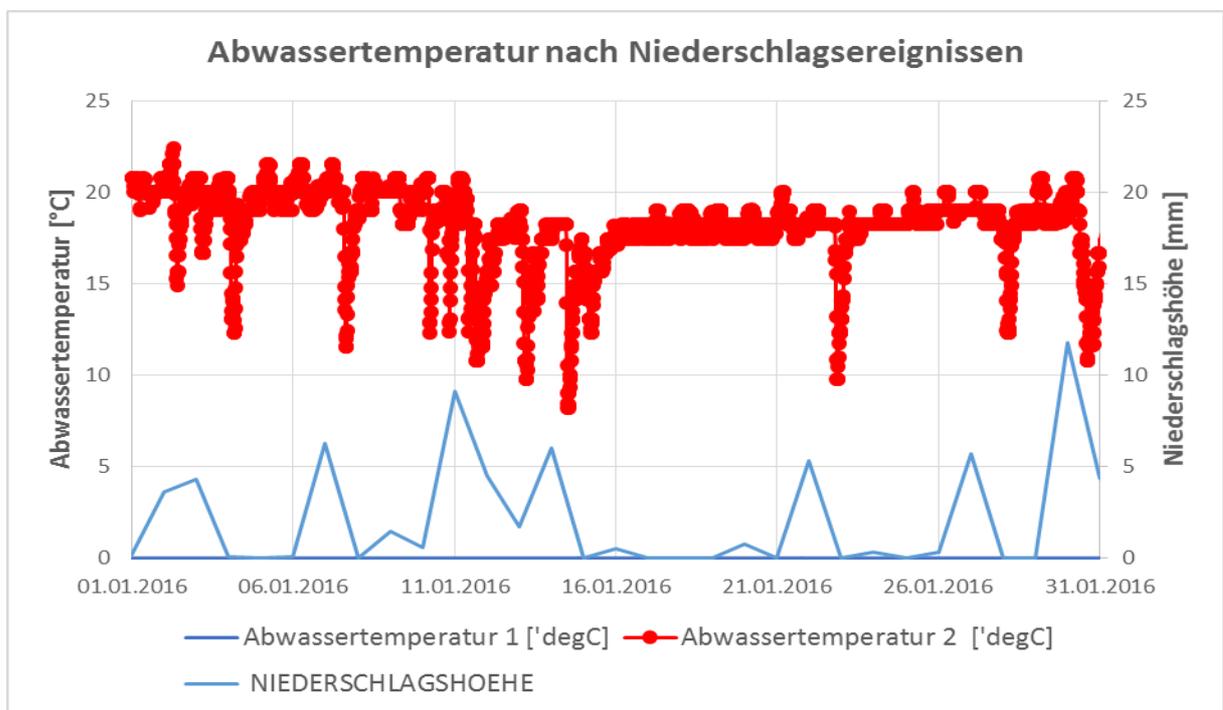


Abbildung 21: Abwassertemperatur nach Niederschlagsereignissen

### 3.3. Umweltbilanz

Wie unter 3.2.2 Vorher- Nachher-Vergleich bereits erläutert, betragen die CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgrund des deutschen Strommix 565 g<sub>CO2</sub>/kWh<sub>Strom</sub>. Darauf bezogen ergibt sich eine jährliche Reduktion von 200 t<sub>CO2</sub> jährlich bzw. 4.000 t<sub>CO2</sub> über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren.

Die Emissionen der Bauphase sind hierbei nicht berücksichtigt worden, ebenso werden die Emissionen bei der Herstellung der eingesetzten Komponenten nicht berücksichtigt, da auch der Einsatz neuer dezentraler Erzeuger Emissionen verursacht. Die Umweltauswirkungen werden auf den Betrieb der Anlage zur Wärmeerzeugung reduziert.

Die Reduzierung der Wärmearbeit ist auf die Umbaumaßnahmen der Gebäude seitens der gewoge AG zurückzuführen. Bei gleichem Wärmebedarf wie vor der Gebäudesanierung würden die CO<sub>2</sub>-Emissionen 148 t<sub>CO2</sub>/a betragen. Dies entspräche ebenfalls einer Reduktion von über 50% pro Jahr. Folglich ist die Emissionsreduktion von ca. 200 t<sub>CO2</sub> pro Jahr zu ca. 15 % auf die energetische Gebäudedämmung und zu 85 % auf die neue Erzeugungseinheit zurückzuführen.

**Tabelle 11: Übersicht der eingesetzten Energie sowie der Wärmearbeit**

	2016	Vor Umbau
<b>Strom- bzw. Gasverbrauch</b>	211.888 kWh	1.290.000 kWh/a
<b>Erzeugte Wärmearbeit</b>	728.065 kWh	900.000 kWh/a
<b>CO<sub>2</sub>-Äquivalente Emissionen</b>	120 t <sub>CO2</sub> /a	322 t <sub>CO2</sub> /a

Die Gebäude mitsamt der Energieversorgungsstruktur wurden von Grund auf energetisch saniert. Um Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Reduktionen der AWNA zu bewerten ist der Vergleich mit den alten GEH differenziert zu betrachten, da die bisher eingesetzte dezentrale Wärmeversorgung durch Gas nicht mehr zeitgemäß ist und den EnEV Vorschriften entspricht. Alternativen zum realisierten AWNA-System wären z.B. die in Aachen vorhandene Fernwärme oder ein zentraler Gaskessel (Brennwertkessel, Jahresnutzungsgrad 95%) gewesen. Zur besseren Vergleichbarkeit bezüglich der Verluste wird davon ausgegangen, dass der Kessel bzw. der Anschlusspunkt der Fernwärme in der jetzigen Energiezentrale wären. Aufgrund der realen Verbrauchsdaten wird das AWNA-System mit diesen Alternativen verglichen.

Die verwendeten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren stammen ebenfalls aus GEMIS 4.95 (Werte für 2015) und sind in Tabelle 12 aufgeführt. Die Primärenergiefaktoren für Strom und Erdgas sind der EnEV 2016 entnommen. Bei den GEMIS Daten handelt es sich dabei um CO<sub>2</sub>-äquivalente Treibhausgasemissionen inklusive der Vorketten und der Nutzung - also z.B. bei Heizsystemen die Bereitstellung von Öl, Gas, Kohle, Strom usw. sowie deren Nutzung im Heizsystem. Sie enthalten auch die Herstellung der jeweiligen Nutzungssysteme (Heizungen, Kraftwerke, Pkw/Lkw usw.). Zu beachten ist, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Fernwärme sehr stark vom Fernwärmenetz abhängen, hier ist der Wert für den deutschen Fernwärmemix angegeben.

Tabelle 12: eingesetzte CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren

	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	Primärenergiefaktor
Erdgas	250 g/kWh	1,1
Strommix	565 g/kWh	1,8
Fernwärme-Mix	260 g/kWh	0,7

In der folgenden Abbildung 22 sind die Treibhausgasemissionen der AWNA inkl. Umwälzpumpen jeweils in der linken Säule zusammengefasst. Es ist erkennbar, dass diese Kombination jeden Monat deutlich weniger Treibhausgas emittiert als eine reine Versorgung über Gaskessel oder Fernwärme. Im Jahr 2016 wurden ca. 212 MWh Strom von der AWNA verbraucht. Mit dem Emissionsfaktor von 565 g<sub>CO2</sub>/kWh<sub>Strom</sub> ergibt dies eine Treibhausgasemission von 120 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Im Vergleich zum deutschen Fernwärme-Mix konnten so 70 t<sub>CO2-Ä</sub> (37 %) und im Vergleich zu einer Versorgung über einen zentralen Gaskessel 63 t<sub>CO2-Ä</sub> (34 %) eingespart werden.

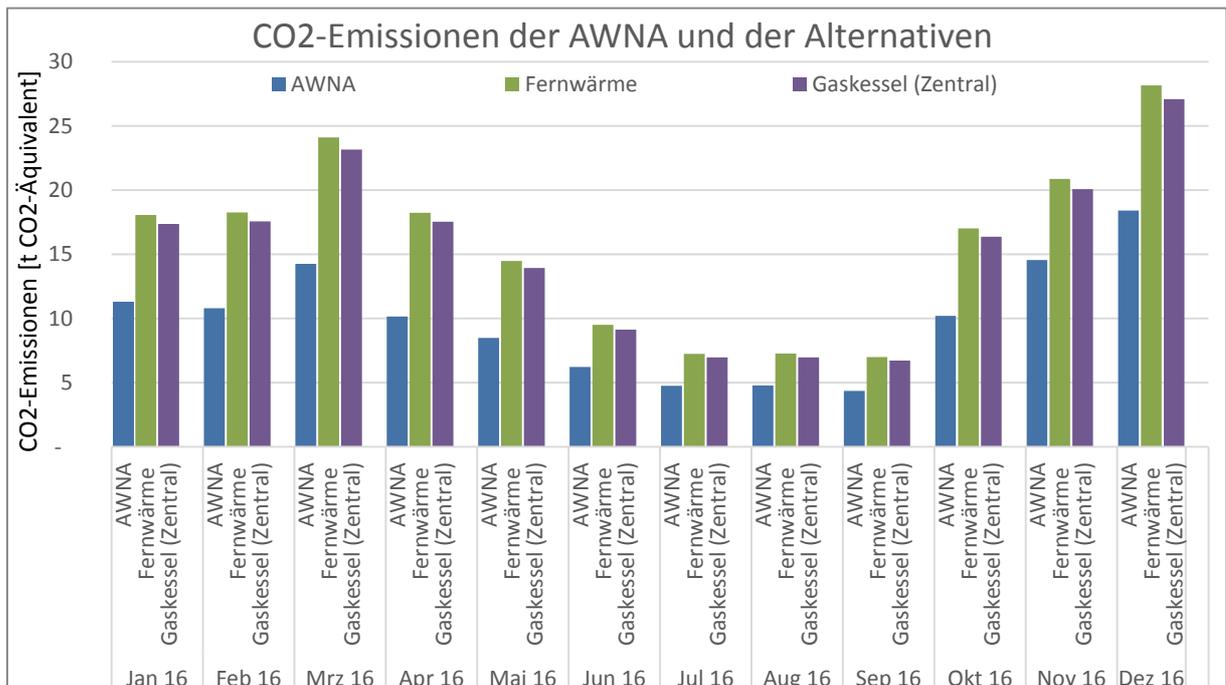


Abbildung 22: CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener Wärmeversorgungsstrukturen

Wie bereits in der vorangegangenen Grafik ist in der Folgenden ein Vergleich der drei Varianten aufgezeigt, hier jedoch hinsichtlich deren Primärenergiefaktoren (PEF). Auch hier ist klar ersichtlich, dass die vorhandene Versorgungsstruktur den geringsten PEF aufweist. Mit dem Faktor 1,8 aus Tabelle 12 ergibt dies einen Primärenergieverbrauch von 377 MWh. Im Vergleich zu Fernwärme (512 MWh) konnten so 26 % und im Vergleich zu einer Versorgung über einen zentralen Gaskessel (804 MWh) 53 % Primärenergie eingespart werden.

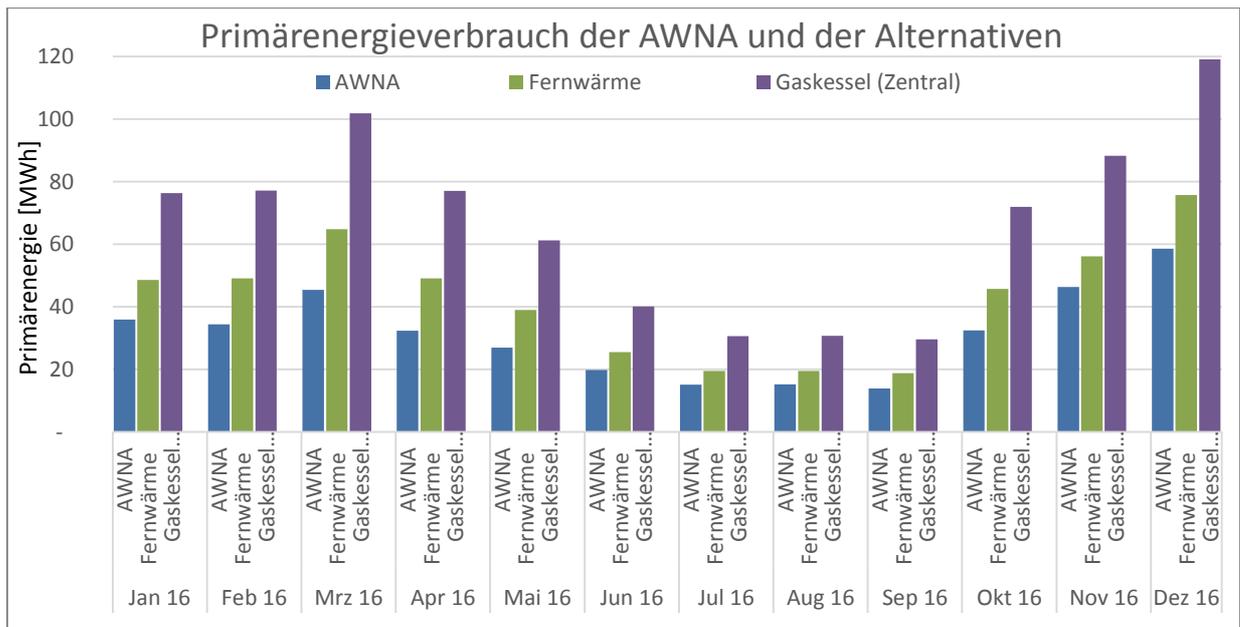


Abbildung 23: Primärenergieverbrauch der AWNA im Vergleich zu den Alternativen

### 3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Den Planungsunterlagen vor Baubeginn sind die folgenden Parameter zugrunde gelegt:

Investitionskosten:	845.000 €
Förder-/Baukostenzuschüsse:	275.000 €
Jährliche Einnahmen:	100.000 €
Jährliche Ausgaben:	65.000 €

Unter Berücksichtigung sämtlicher Positionen, wie Kapitalkosten bzw. Zinszahlungen, Wartungskosten sowie des Stromverbrauchs, ergibt sich eine Amortisationszeit von knapp 19 Jahren. Somit ist die Wirtschaftlichkeit der Anlage über den vertraglich festgelegten Zeitraum von 20 Jahren knapp gewährleistet. Die Umsetzung des Projektes wäre folglich ohne den Einsatz von Fördermitteln nicht möglich gewesen, da sich die hohen Investitionskosten nicht durch die reine Wärmeerzeugung refinanzieren würden. Bei außerplanmäßig auftretenden Kosten wie bspw. Pumpenaustausch oder Steuerungstechnik kann die Wirtschaftlichkeit somit schnell gefährdet werden.

Aus Sicht der Mieter und somit der Wärmekunden, die aus der AWNA versorgt werden, ergibt sich ein Kostenvorteil von 1,76 ct/kWh Wärme. (Berechnungsgrundlage: Gaspreis des Grundversorgers multipliziert mit dem Wirkungsgrad der GEH). Für alle aus der AWNA versorgten Bewohner ergibt sich somit ein Kostenvorteil von 13.000 € jährlich.

### 3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Die Abwasserwärmenutzungsanlage basiert auf einem Wärmetauscher im städtischen Abwasser sowie der Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpen. Die Technologie der Wärmepumpe ist mittlerweile ausgereift und weit verbreitet in Deutschland. Die dabei verwendeten Typen

- Sole-Wasser-WP
- Wasser-Wasser-WP
- Luft-Wasser-WP
- Luft-Luft-WP

werden abhängig von den örtlichen Gegebenheiten ausgewählt. Im vorliegenden Anwendungsfall ist eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe zur Nutzung der Abwasserwärmeenergie eingesetzt worden. Dies bedeutet, dass sowohl das aufnehmende Medium im Wärmepumpenkreislauf als auch das Wärme abgebende Medium aus Wasser bestehen. Oft werden als Sole Fluide verwendet, die bei niedrigeren Temperaturen ihren kritischen Punkt erreichen. Aufgrund der Sensibilität des städtischen Wasserkanals wurde hier die Wasser-Wasser-Wärmepumpe gewählt.

Zusätzlich sind in den Unterzentralen zum Teil Abluft-Wärmepumpen eingebaut, die ebenfalls das Prinzip der Wasser-Wasser-Wärmepumpe nutzen, mit dem Unterschied, dass die Sole über den Wärmetauscher mit Abluft erwärmt wird.

Grundsätzlich besteht der Vorteil der noch recht neuen Technologie in der wartungsarmen Betriebsweise sowie in der Verwendung von Strom als Energieträger, der wiederum abhängig von seiner Kennzeichnung einen sehr niedrigen spezifischen Emissionswert aufzeigt. Insbesondere bei der aktuellen Entwicklung des Energiemarktes sowie der politischen Rahmenbedingungen ist der Einsatz von stromgeführten Heizsystemen als sinnvoll zu erachten, trotz der steigenden Strompreise für Endverbraucher, die den sinkenden Preisen an den Großhandelsmärkten entgegen stehen [Stodtmeister].

## 4. Übertragbarkeit

### 4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Für die erfolgreiche Umsetzung eines innovativen Projektes, wie der Errichtung einer Abwasserwärmenutzungsanlage, ist es wichtig eine vertrauensvolle intensive Zusammenarbeit mit den einzelnen Gewerken aufzubauen, um frühzeitig Komplikationen erkennen und beheben zu können. Es ist ebenfalls zu empfehlen auch die Anlagenhersteller in die Planungen einzubeziehen, um das passende Produkt sowie die optimale Software frühzeitig zu bestimmen. Für das Monitoring und die künftige Anlagenüberwachung sollte unter Berücksichtigung möglicher Entwicklungen, insbesondere der Digitalisierung, eine Fernauslesbarkeit eingerichtet werden.

Als Erkenntnis dieses Projekts ist zunächst anzumerken, dass eine genaue Datenlage der Wärmequelle und der Wärmeabnehmer zwingend erforderlich ist. So muss neben der Temperatur der Wärmequelle auch die Ergiebigkeit geprüft werden, um einen störungsfreien Betrieb sicherzustellen.

Die Dimensionierung der Sole- und der Heizungsleitungen sollte großzügig erfolgen. Zwar werden teilweise von Wärmepumpenherstellern Temperaturdifferenzen zwischen Vor- und Rücklauf von bis zu 8 K angegeben, in der Praxis haben sich jedoch 4 K fast ausschließlich eingestellt. Damit ergeben sich zur Leistungsbereitstellung höhere Volumenströme und folglich mit steigender Fließgeschwindigkeit auch wesentlich höhere Pumpenstromaufnahmen. Zwar ist der Kostenpunkt der Nahwärmeleitung nicht unerheblich, jedoch entfällt dabei ein Großteil auf die Tiefbauarbeiten, wodurch eine Rohr-Nennweite größer nicht so stark in das Gewicht der Investitionskosten fällt.

Das Pufferspeichervolumen ist bei Wärmepumpenanlagen, hier keine Inverter-Technologie, auf eine sinnvolle Größe auszulegen. Durch die vor-Ort-Begebenheiten ist eine max. Pufferspeichergröße von 2.000 l installiert worden, was bei dieser Wärmeleistung merklich gering ist. Die Pufferspeichergröße ist unserer Erfahrung nach auf die Sperrzeiten der Kompressoren und die errechnete Wärmeleistung der Versorgungsobjekte auszulegen.

Die Gebäudeleittechnik sollte soweit wie möglich Daten erfassen, auswerten und visualisieren können. Die Wärmepumpen sind zunächst mit Kaltleitern auf die Gebäudeleittechnik aufgelegt worden, sodass eine Sammelstörmeldung generiert worden ist, die per Mail versendet wird. Ein Fehlercode z.B. ist in diesem Rahmen aus der Ferne nicht sichtbar. Im Nachhinein sind BUS-Schnittstellenkarten mit BUS-over-IP Übertragungsverfahren installiert worden, womit aus der Ferne Fehler quittiert werden können und die Wärmepumpen zumeist wieder in Betrieb gehen. Somit haben sich Einsparungen auf der Kundendienstseite des Herstellers, welche nicht unerheblich sind, einsparen lassen. Erhebliche und bauteilschädigende Fehler, wie z.B. des Hochdruckschalters, können weiterhin nur vor Ort quittiert werden.

#### 4.2. Modellcharakter und Übertragbarkeit

Der Einsatz von Wärmepumpen ist, wie bereits erläutert, weit verbreitet und wird auch in Neubauten häufig eingesetzt. Allein dies zeigt, dass die grundsätzliche Übertragbarkeit möglich ist, sofern die Abwassertemperaturen des städtischen Abwasserkanals ein ausreichendes Temperaturniveau und Ergiebigkeit ganzjährig garantieren können. Die Besonderheit im Aachener Abwasserkanal ist, dass das Temperaturniveau sowie die Ergiebigkeit ganzjährig vorliegen, was auch auf die natürlichen heißen Quellen im Stadtgebiet zurückzuführen ist. Sollten die Temperaturen jedoch eine gleichwertige Ausgangslage bieten, ist bereits heute der Einsatz einer Abwassernutzungsanlage empfehlenswert, um CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren und ein wartungsarmes, funktionierendes Heizsystem aufzubauen.

Weiterhin ist eine Übertragbarkeit auch nur in dieser Größenordnung möglich, wenn auf der Abnehmerseite eine große zusammengehörige Liegenschaft wie z.B. eine Wohnungsgenossenschaft ist. So würde wahrscheinlich jede Wirtschaftlichkeitsbetrachtung scheitern, wenn auf der Abnehmerseite nur Eigentumswohnungen sind, die nicht alle einem Anschluss zustimmen.

Die Trinkwarmwasserbereitung ist auch in der Übertragbarkeit zu nennen. Bei einer zentralen Trinkwarmwasserversorgung und der damit einhergehenden technischen Regelungen im Sinne der TrinkwV wäre eine Wärmepumpenanlage nicht in der Lage gewesen die entsprechenden Heizungswassertemperaturen von 70 °C auszukoppeln und weiterhin die Rahmenbedingungen einer Wirtschaftlichkeit zu erfüllen. Durch die dezentrale Trinkwarmwasserbereitung in jeder Wohnung kann von den hohen Temperaturen aus Gründen des Hygieneschutzes in Trinkwasseranlagen abgewichen werden, da es sich hier um Kleinanlagen im Sinne der TrinkwV handelt.

Zu beachten ist die Fließgeschwindigkeit des Abwassers im Kanal, der Volumenstrom sowie die genannte Temperatur. Insbesondere die Messung über einen längeren Zeitraum, der die Nacht- und Wochenendstunden einbezieht, ist unabdingbar, um eine kontinuierliche Nutzung des Wärmemediums garantieren zu können. Andernfalls wird die JAZ drastisch sinken oder das notwendige Temperaturniveau für die Warmwasser- bzw. Raumwärmebereitung nicht erreicht.

Eine quantitative Aussage über den Einsatz von Abwasserwärmepumpen ist schwer zu treffen, da die äußeren Rahmenbedingungen hierfür passen müssen. Aufgrund der Notwendigkeit eines kontinuierlichen Minimums des Volumenstroms, der nicht unterschritten werden darf, begrenzt sich der Einsatz dieser Anlagen auf Städte sowie die Nähe zu einer „Hauptleitung“ des Abwassersystems. Weitere Potentiale sind sicherlich in Mischgebieten zu finden, in denen Gewerbe- bzw. Industrieunternehmen ganzjährig produzieren und mit einer erhöhten Temperatur in den Kanal einspeisen. Die Einsatzgebiete sind somit auf Gebiete beschränkt, die die beschriebenen Parameter erfüllen.

Ein wichtiger Aspekt für die Nutzung der Abwasserwärme ist das Temperaturniveau des Heizsystems. Zudem ist ausreichend Platz in der Heizzentrale oder einem benachbarten Kellerraum notwendig, um die Anlagen zu installieren. Zusätzlich ist die elektrische Anschlussleistung zu überprüfen oder ggf. anzupassen. Aufgrund der genannten Aspekte sind Neubauten sehr gut hierfür geeignet, bei Bestandsbauten sollte eine energetische Sanierung mit einhergehen, um das Temperaturniveau des Heizsystems zu erreichen und somit eine Zusatzfeuerung zu vermeiden, abgesehen von zeitweise notwendigen Spitzlastdeckungen.

## **5. Zusammenfassung / Summary**

### **5.1. Zusammenfassung**

#### **– Einleitung/Introduction**

Die STAWAG Energie GmbH ist eine 100-prozentige Tochter der Stadtwerke Aachen AG. Im Fokus des Unternehmens steht die Entwicklung von Projekten mit Bezug zu erneuerbaren Energien und innovativen Technologien. Aufgrund der natürlichen heißen Quellen in Aachen war es folglich nur eine Frage der Zeit, bis ein Projekt zur Abwasserwärmenutzung durchgeführt wird. Gemeinsam mit der gewoge AG wurde die Entscheidung zur Projektumsetzung beschlossen und anschließend umgesetzt, um Klimaschutzziele wie CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung zu erreichen. Im Zuge dieses Vorhabens wurden seitens der gewoge AG die betroffenen Gebäude energetisch saniert und die vorhandenen Gasetagenheizungen ausgebaut. Die STAWAG Energie GmbH hat die Planung, Auslegung und Durchführung des Baus der neuen Heiz- und Unterzentralen inklusive der Nahwärmeleitungen und des Abwasserwärmetauschers übernommen.

#### **– Vorhabenumsetzung/Project implementation**

Das Ziel des Vorhabens führt auf das EU-GUGLE-Projekt zurück, unter deren Maßgabe die gewoge AG den Fokus auf eine energetische Sanierung inklusive des Heizsystems gesetzt hat. Hierbei hat sich der Aufbau einer gemeinsamen Heizzentrale mit zwei leistungsstarken Wasser-Wasser-Wärmepumpen als sinnvollste Variante herauskristallisiert. Als Wärmemedium dient dabei die Energie des Abwassers, die ganzjährig bestehend als Sole

Wärmequelle dient. Im Voraus wurden hierzu Messungen durchgeführt, die den Volumenstrom sowie das Temperaturniveau als ausreichend bestätigten.

Aufgrund des Umbaus von dezentraler zur zentralen Wärmeversorgung sind Doppelrohr-Nahwärmeleitungen verlegt worden sowie Unterzentralen in den einzelnen Wohnkomplexen installiert worden. Zur Unterstützung der zentralen Wärmepumpen ist zusätzlich jede Unterzentrale mit Abluft-Wärmepumpen ausgestattet, die über ein neues Abluftsystem insbesondere die Wärme aus den Badezimmern der Wohnungen als Wärmequelle nutzt.

Sowohl die Heizzentrale, als auch die Unterzentralen sind mit Pufferspeichern ausgestattet, um die Wärmeversorgung sicherzustellen und die Laufzeit der Wärmepumpen zu optimieren

#### – **Ergebnisse**

Im Zuge der Projektumsetzung ist ein Monitoring-System integriert worden, das die Energieströme erfasst und eine ausführliche Übersicht der erzeugten Wärmeenergie sowie der dafür eingesetzten elektrischen Energie darstellt. Der Coefficient of Performance (COP) gibt dabei das Verhältnis zwischen den Energiemengen an. Für diese Anlage beträgt der COP 3,6. Das bedeutet, dass pro eingesetzte Einheit elektrischer Energie 3,6 Einheiten Wärmeenergie produziert werden. Dieser Wert liegt im „grünen Bereich“. Aufgrund der Verdrängung der mit Erdgas befeuerten Etagenheizungen in den Wohnungen und dem Einsatz von klimaneutralem Ökostrom wird eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 265 Tonnen jährlich erreicht (Substitution des Erdgases).

Über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren erwirtschaftet die Anlage den gesamten Kapitalrücklauf mit einer Verzinsung von ca. 8,5 %. Somit kann das Projekt als wirtschaftlicher Erfolg verbucht werden.

#### – **Ausblick**

In der Nutzung des Abwassers als Wärmequelle für zentral gesteuerte Heizsysteme auf der Basis von Wärmepumpen liegt ein großes Potential. Die Auslegung der Anlagen sollte langfristig erfolgen, um eine hohe Versorgungssicherheit für den Betreiber und die Kunden des Heizsystems zu gewähren. Dies beruht auf der wartungsarmen Betriebsweise sowie der dauerhaft erhaltenen Wärme des Abwassers (sofern die Abwärme nicht nur durch einen Großverbraucher eingeleitet wird). Aufgrund dieser Beschaffenheit ist die Wärmequelle als erneuerbar zu deklarieren, da auch künftig die Nutzung des Abwasserkanals bestand hat.

## 5.2. Summary

#### – **Introduction**

The company STAWAG Energie GmbH is a subsidiary company of the municipal energy supplier from Aachen, the STAWAG AG. We focus on project development of renewable energies and clean technologies. Because of the hot springs in Aachen, we used to find a project to use this energy and developed this project with the real estate company gewoge AG. Both have the target to reduce the pollution of carbon dioxide. In this case the gewoge AG used to perform an energetic building restoration, this includes to remove the gas heater out of the apartments. The STAWAG Energie GmbH did the whole planning for the systems engineering and controlled the implementation of the plant design, the local heating pipe and the installation of the recuperator in the drain.

– **Project implementation**

The main aspect was the district heat station instead of the distributed system of gas heaters. The new system bases on two water-water heat pumps. As the source of heating we can use the energy of the hot water in the drain, yearlong. To be on the safe side, we did some temperature measurements of the water temperature. In this project we used double pipelines to connect the district heat station with the substations in the residential buildings. In these substations, we installed other heat pumps. These ones use as the heat source new installed exhaust-air plants, using the hot air out of the bathrooms. In all stations are backup memories (buffer storages) to ensure a continuous heat supply.

– **Project results**

As the result is a coefficient of performance (COP) of 3.6 (in the period from January to August 2016). We get the data base out of a new monitoring system, integrated in the whole heating system. At the end we can reduce around 265 barrel carbon dioxide with this new system, because the heat pumps use green electricity without greenhouse gas emissions.

The result of the economic feasibility study has a rate of interest of 8.5 % and a return of investment after 19 years.

– **Prospects**

This new system gives a high security of heat supplies. The system has a low maintenance (service reduced) and a long life time.

## 6. Literaturverzeichnis

Ihle, C., Bader, R., & Golla, M. (2015). *Tabellenbuch - Sanitär, Heizung, Klima / Lüftung*. Köln: Bildungsverlag EINS GmbH.

Stodtmeister, W. (kein Datum). *ECO.S Energieconsulting Stodtmeister*. Abgerufen am 21.. September 2016 von <http://www.eco-s.net/abwasserwaerme.html>

## 7. Anhang

„rechts oben“ befindet sich der kleine blaue Kreis mit einer weißen eins.

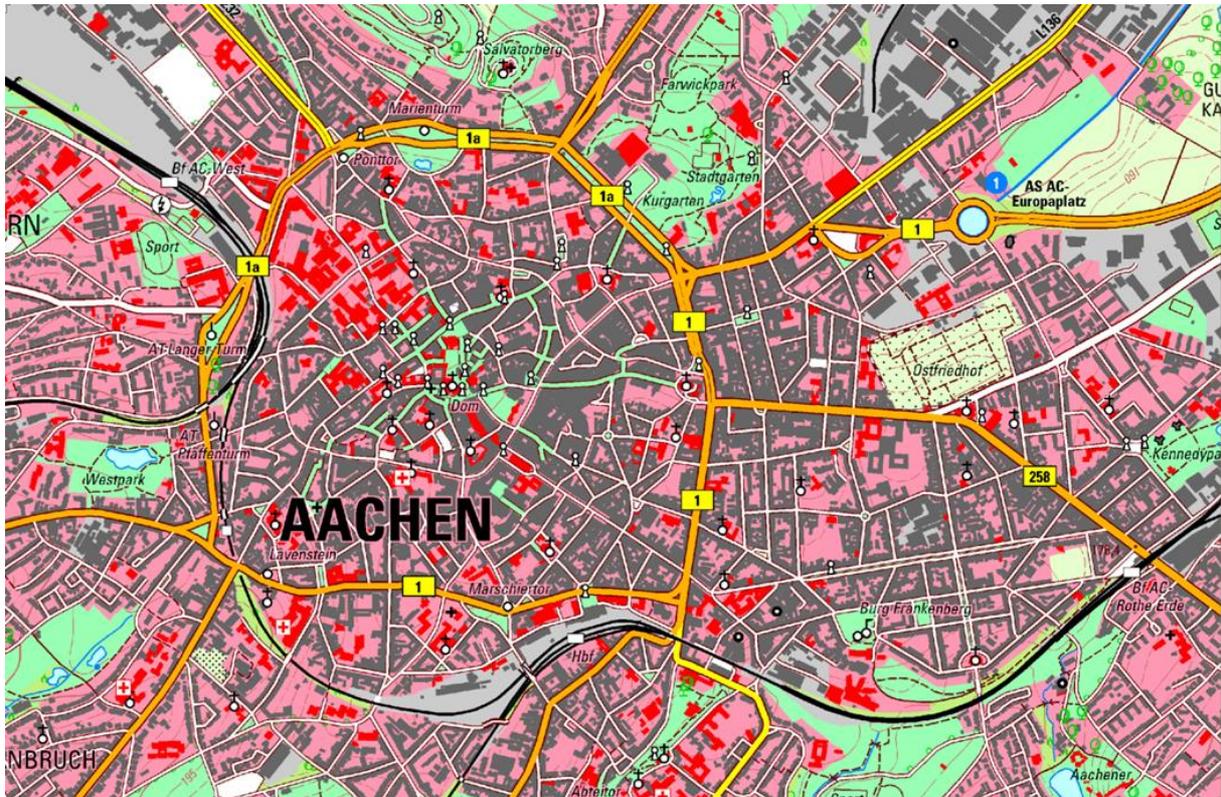


Abbildung 24: Stadtgebiet Aachen - Quelle <https://www.tim-online.de>

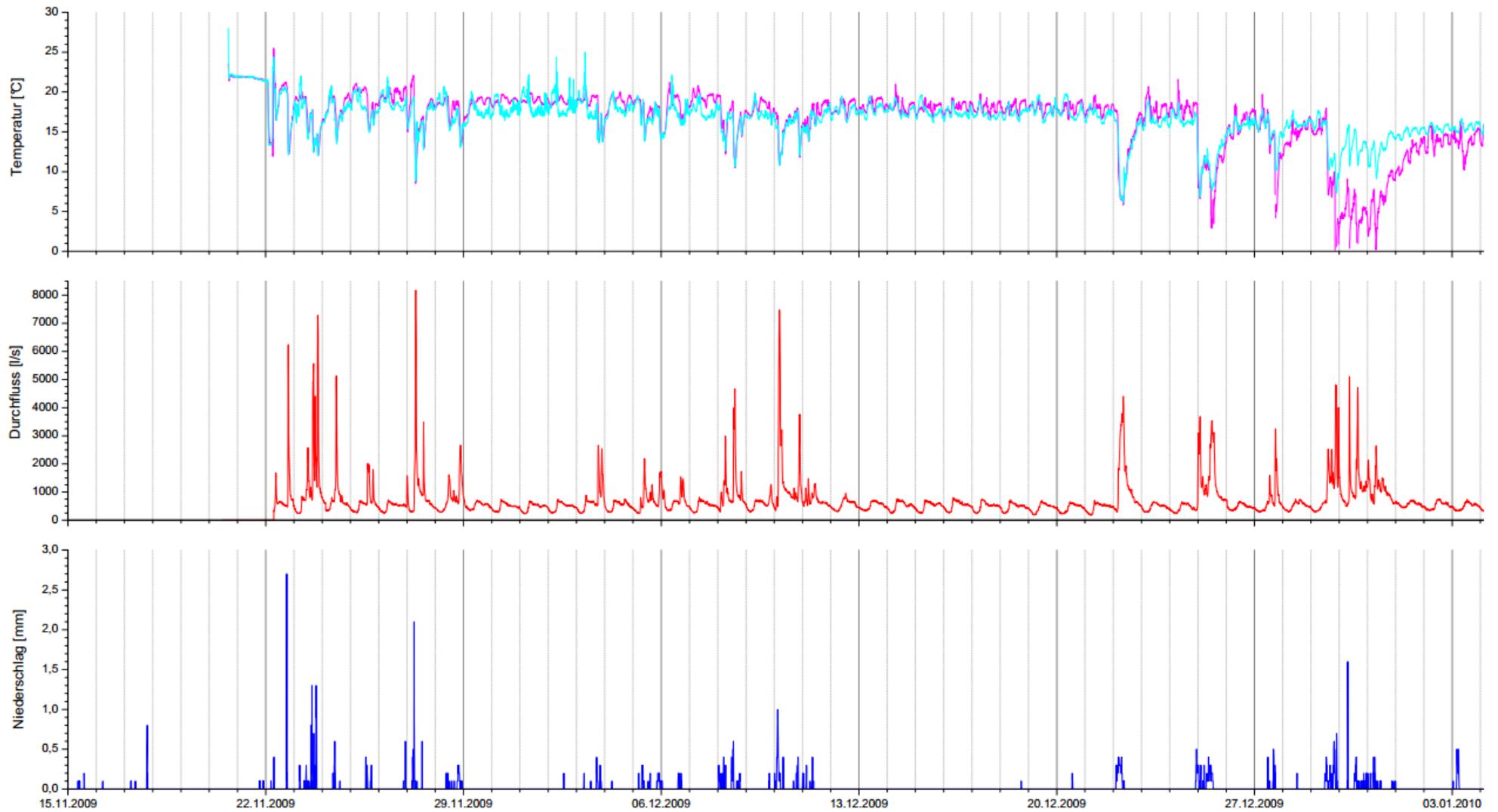


Abbildung 25 - Analyse der Temperatursenken 1/3

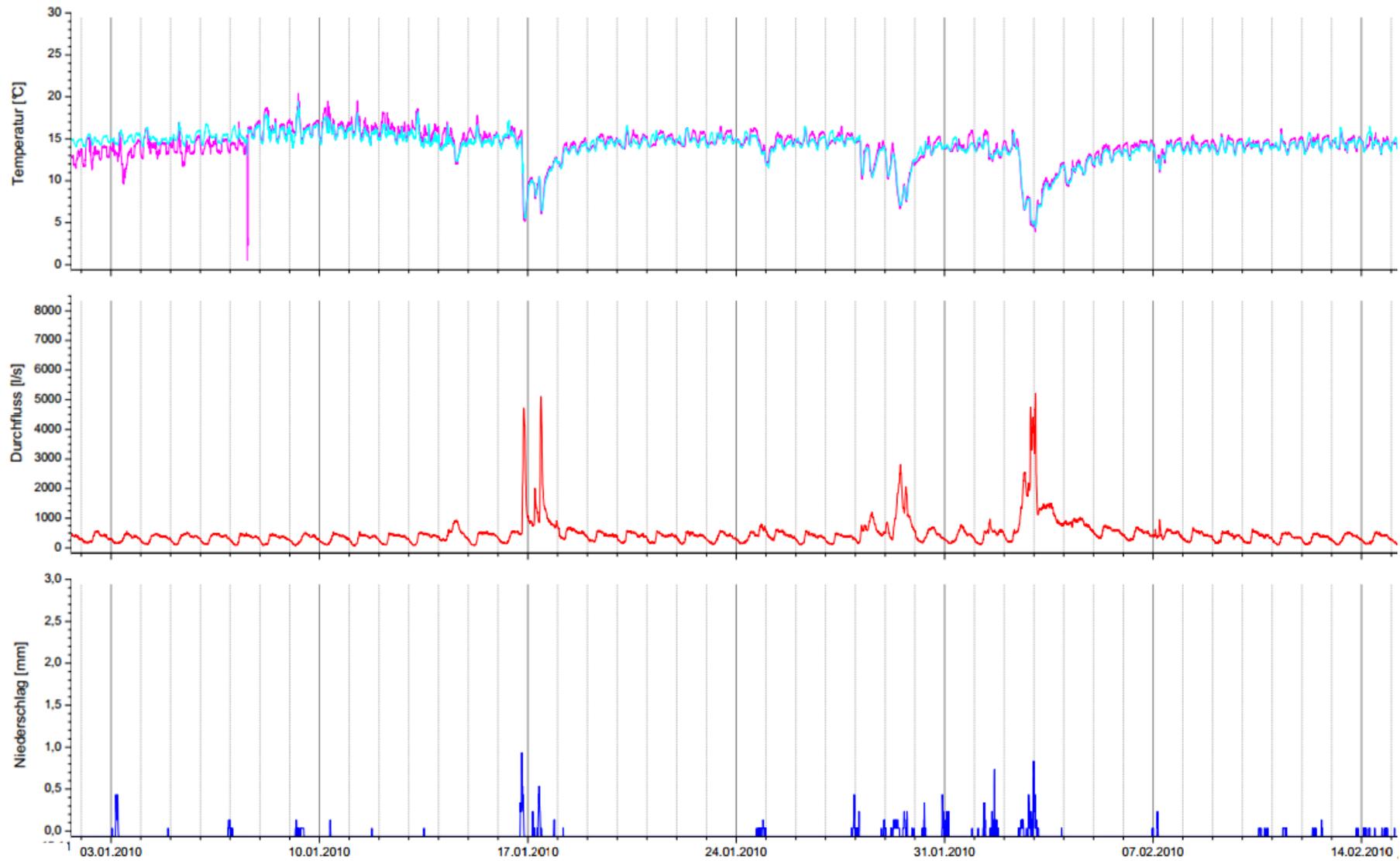


Abbildung 26 - Analyse der Temperatursenken 2/3

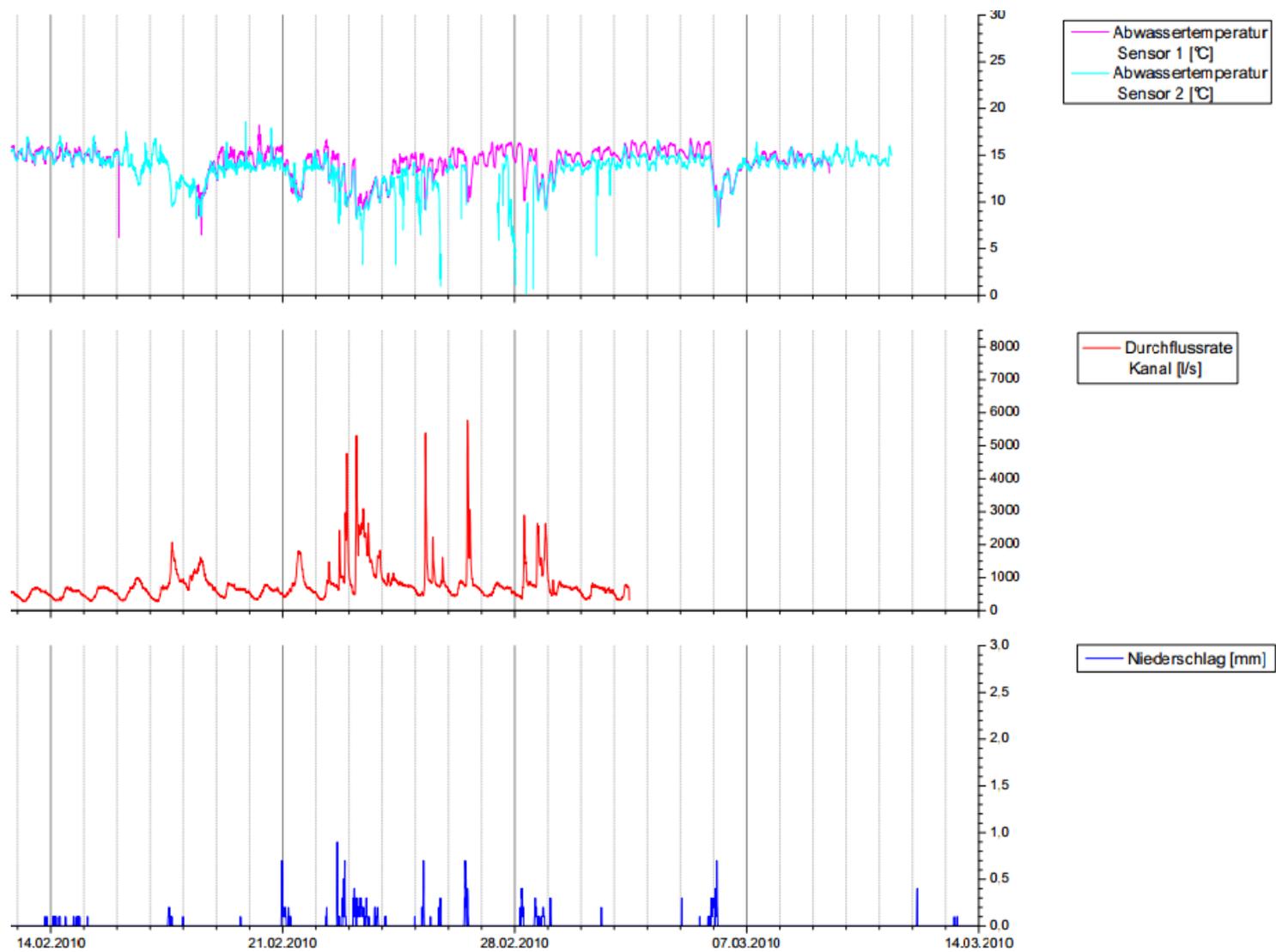


Abbildung 27: Analyse der Temperatursenken 3/3