



Deutsche  
Bundesstiftung Umwelt

DBU-AZ 34056/01

# Dezentrale Wärmerückgewinnung aus Grauwasser - Erprobung, Optimierung und Monitoring verschiedener Technologien an unterschiedlichen Standorten



## **Bearbeitung**

Ingenieurbüro Nolde & Partner  
Dipl.-Ing. Erwin Nolde  
Marienburger Straße 31A  
10405 Berlin  
Tel.: 030 46 60 1751  
Fax: 030 44 03 34 10  
e.nolde@nolde-partner.de

Berlin, im September 2021



# DEZENTRALE WÄRMERÜCKGEWINNUNG AUS GRAUWASSER - ERPROBUNG, OPTIMIERUNG UND MONITORING VERSCHIEDENER TECHNOLOGIEN AN UNTERSCHIEDLICHEN STANDORTEN

ABSCHLUSSBERICHT  
Aktenzeichen: 34056/01



**Gefördert durch die**  
Deutsche Bundesstiftung Umwelt  
An der Bornau 2  
49090 Osnabrück



**Bearbeitung**  
Ingenieurbüro Nolde & Partner  
Dipl.-Ing. Erwin Nolde  
Marienburger Straße 31A  
10405 Berlin  
e.nolde@nolde-partner.de

Berlin, im September 2021

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Technische Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung</b> .....	<b>9</b>
<b>3. Betrachtung der Wärmepotenziale im häuslichen Abwasser</b> .....	<b>11</b>
Berlin; Block 6 .....	11
Berlin; Passivhaus Arnimplatz .....	14
Frankfurt a. M.; Passivhaus Salvador-Allende Str. ....	16
Berlin; KfW-40 Haus Marienburger Straße .....	20
Leipzig; Altbausanierung Seniorenwohnheim .....	23
<b>4. Bauteile zur Wärmerückgewinnung</b> .....	<b>29</b>
Abwasserrohre.....	29
Duschrinnen.....	30
Erfahrungen mit dem Duschrohr .....	30
Rohrwärmetauscher .....	33
Betrieb der Wärmeüberträger.....	35
Pufferspeicher .....	36
Wärmeübertragung auf das Kaltwasser .....	38
Einfluss der Temperatur auf die Vermehrung von Legionellen .....	39
Wärmepumpe.....	41
Wärmerückgewinnung ohne bzw. mit Wärmepumpe .....	42
Wärmerückgewinnung aus Grauwasser in Kombination mit einem BHKW, Fernwärme oder einer PV-Anlage .....	45
Wärmerückgewinnung aus Abwasser im Gebäudebestand .....	46
<b>5. Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	<b>49</b>
<b>6. Anhang –</b>	
<b>Veröffentlichungen im Rahmen des DBU-Projekts</b>	
<b>Wärme und Betriebswasser aus dem Grauwasser</b>	
Veröffentlichung in Moderne Gebäudetechnik 7-8/2021.	
<b>Das letzte Wärmeloch</b>	
<b>Wärmerückgewinnung mit Grauwasser</b>	
Veröffentlichung in EnEV-Baupraxis November/Dezember 2019. ....	<b>52</b>

## Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Grauwassersammelleitungen Block 6 (Faserzementrohre).....	11
Abbildung 2. Fließbild der Grauwasserrecyclinganlage. ....	12
Abbildung 3: Darstellung der gemittelten Tagestemperaturen für Trinkwasser, zufließendes Grauwasser (P2) sowie Betriebswasser (P13).....	12
Abbildung 4: Zulufttemperatur mengenbewertet über ein Jahr 2020.....	13
Abbildung 5: Häufigkeitsverteilungen der mengenbewerteten Grauwasserzulufttemperaturen (Messpunkt P2).....	13
Abbildung 6: Grauwassererfassung an der Grauwasserrecyclinganlage am Arnimplatz (Low Noise Kunststoffrohr).....	14
Abbildung 7: Ungedämmte blaue Grauwasserleitungen.....	14
Abbildung 8: Tagesmittelwerte zum Grauwasseranfall sowie der mittleren Grauwasser- und minimale Trinkwassertemperatur. ....	15
Abbildung 9: Summenhäufigkeit der Grauwassertemperaturen – gemessen im Anlagenzulauf. ....	15
Abbildung 10: Leitungsführung zur Grauwassererfassung und Wärmerückgewinnung für die Bauteile A, B und C sowie Wärmerückgewinnung aus dem Schmutzwasser der Bauteile C, D und E.....	16
Abbildung 11: Wärmerückgewinnung und Grauwasserrecycling. Zuordnung zu den jeweiligen Bauteilen. ....	17
Abbildung 12: Über 24 Stunden aufsummierte Gesamtabwassermengen von 38 WE, sowie das Grau- und sonstiges Abwasser aus 28 WE.....	17
Abbildung 13: Temperaturverläufe, gemessen in den Zuläufen der Rohrwärmetauscher für Gesamtabwassermengen von 38, sowie das Grau- und sonstiges Abwasser aus 28 WE.....	18
Abbildung 14: Zu- und Ablauftemperaturen des Wärmetauschers AWT 1 (12 m SML-Rohrwärmetauscher) für das Gesamtabwasser aus 38 WE.....	18
Abbildung 15: Zu- und Ablauftemperaturen des Wärmetauschers AWT 2 (6 m SML-Rohrwärmetauscher) für das Grauwasser aus 28 WE. ....	18
Abbildung 16: Zu- und Ablauftemperaturen des Wärmetauschers AWT 3 (6 m SML-Rohrwärmetauscher) für das sonstige Abwasser aus 28 WE. ....	19
Abbildung 17: Wassermengen und Energieerträge im Juni 2018.....	19
Abbildung 18: Grauwassersammelleitungen Marienburger Straße 31A. ....	20
Abbildung 19: Temperaturverläufe des kalten Trinkwassers, des Grauwassers sowie die Grauwassertemperaturen, dargestellt als tägliche Mittelwerte je Kalenderwoche.....	21
Abbildung 20: Nutzbares Wärmepotential des Grauwassers durch Abkühlung auf die aktuelle Trinkwassertemperatur bzw. auf 10°C, dargestellt als tägliche Mittelwerte je Kalenderwoche.....	21
Abbildung 21: Gemessene Solarmonatserträge mittels 43 m <sup>2</sup> Flachkollektoranlage im Vergleich mit dem errechneten Energiebedarf um den Warmwasserbedarf auf 60°C zu erhitzen (ohne Zirkulationsverluste). ....	22
Abbildung 22: Betriebs- und Warmwasser- sowie Holzpelletbedarfe. ....	23
Abbildung 23: Tagesverbräuche Kaiserliches Postamt – Mai 2018 .....	24
Abbildung 24: Tagesverbräuche Kaiserliches Postamt - Juni 2018.....	24

Abbildung 25: Summierter Wasserbedarf / Anfall nach Tageszeit .....	25
Abbildung 26: Summenhäufigkeit der Grauwassertemperaturen.....	26
Abbildung 27: Summierter Betriebs- und Warmwasserbedarf .....	27
Abbildung 28: Holzpellet- und Warmwasserverbrauch nach Tageszeit. ....	27
Abbildung 29: Ein schallisoliertes Kunststoffrohr mit Brandschutzmanschette bei Mauerdurchführungen.....	29
Abbildung 30: Duschrinne mit Wärmetauscher .....	30
Abbildung 31: Duschröhre und Funktion des Duschröhrens. ....	31
Abbildung 32: Duschröhre eingebaut mit Wärmemengenzähler, und Hebeanlage für eine Gemeinschaftsdusche in einer Berliner Obdachloseneinrichtung. ....	32
Abbildung 33: Rohrwärmetauscher im Betrieb. ....	33
Abbildung 34: Selbst gewickelte Wellrohrwärmetauscher neu und im Betrieb. ....	34
Abbildung 35: Funktionsprinzip der unterschiedlichen Wärmetauscher. ....	35
Abbildung 36: Industriell gefertigter Hygienespeicher. ....	36
Abbildung 37: Wärmeverluste des eisernen industriell gefertigten Pufferspeichers. ....	37
Abbildung 38: Wärmeübertragung auf das 11,5 °C warme Kaltwasser bei unterschiedlichen Warmwasserzapfmengen.....	38
Abbildung 39: Einfluss der Temperatur auf die Vermehrung von Legionellen © TZW Dresden - DVGW .....	39
Abbildung 40: Kennlinie der Wärmepumpe bei einer konstanten Quelltemperatur von 15 °C .....	41
Abbildung 41: Kennlinie der Wärmepumpe bei einer konstanten Quelltemperatur von 35 °C. ....	41
Abbildung 42: Betriebsergebnisse der Grauwasserrecyclinganlage mit integrierter Wärmerückgewinnung (ohne Wärmepumpe) am Arnimplatz.....	42
Abbildung 43: Jahresverlauf über den Wärmeentzug aus Grauwasser sowie der Wärmeeinspeisung in die Warmwasserbereitung.....	43
Abbildung 44: Wärmepotenziale am Beispiel des Standorts Arnimplatz unter Verwendung einer Wärmepumpe .....	44
Abbildung 45: Tagesverläufe zum Energiebedarf der Warmwasserbereitung und den Warmwassertemperaturen.....	47
Abbildung 46: Tagesverläufe zum Energiebedarf der Warmwasserbereitung und den Zirkulationsverlusten von Gartenhaus und Vorderhaus. ....	48

## Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Wärmeverluste des Pufferspeichers .....	37
Tabelle 2: Energiebilanz für ein KfW-40 Gebäude mit Holzpelletheizung und Solarthermie. ..	46

## 1. Einleitung

In Anlehnung an das Pariser Klimaabkommen hat sich auch Deutschland verpflichtet, bis spätestens 2050 CO<sub>2</sub>-neutral zu sein. Der Bundestag hat zudem am 24. Juni 2021 dem von der Regierungskoalition vorgelegten verschärften Klimaschutzgesetz zugestimmt. Das sieht unter anderem vor, dass Deutschland bis 2045 Klimaneutralität erreicht – statt, wie zuvor geplant, bis 2050<sup>1</sup>. „Klimaneutral“ bedeutet, dass nur noch so viel Treibhausgas ausgestoßen wird, wie von der Natur wieder aufgenommen werden kann.

Allein um den Strombedarf aus Wind und Sonne zu decken sind gigantische Investitionen fällig. Viel zu wenig wird berücksichtigt, dass jede dauerhaft eingesparte Kilowattstunde wertvoller ist als jede neu erzeugte. Insbesondere im Wohnungsbereich werden diverse Einsparpotenziale ausgemacht.

Einzelne Bausteine gegen den Klimawandel und Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung (blau-grüne Infrastrukturen) dürfen nicht weiter isoliert, sondern integrativ bearbeitet werden. Die Blicke sind gleichwohl auf die regionale Wasserver- und Abwasserentsorgung als auch auf die Gebäude zu richten, wo der Wasserbedarf abgefordert wird.

### Blick auf die Wasserver- und Abwasserentsorgung

- Die Wasserver- und Abwasserentsorger sind vielfach die größten kommunalen Stromverbraucher. Allein die Berliner Wasserbetriebe verbrauchen mit 311 GWh mehr Energie als eine Stadt mit 300.000 Einwohnern an Haushaltsstrom benötigt<sup>2</sup>. Infolge der höheren Reinigungsanforderungen (Spurenstoffentfernung, Medikamentenrückstände) wird der Stromverbrauch zukünftig weiter ansteigen.
- Der Klimawandel, verbunden mit immer länger andauernden Trockenperioden bei steigendem Wasserbedarf ist ein weiterer Aspekt, der zunehmend an Bedeutung gewinnt. Insbesondere, wenn die Städte mehr Grünflächen bekommen sollen, muss man sich fragen, wo das zusätzliche Wasser – insbesondere in den Trockenperioden herkommen soll. Grauwater ist eine verlässliche Quelle, die den Trinkwasserbedarf um 30 bis über 50 % senken kann und darüber hinaus eine bedeutungsvolle Energieressource.

### Blick auf den Energieverbrauch in Gebäuden

In öffentlichen und privaten Gebäuden in Deutschland entfällt ein Anteil von 40 % des Gesamtenergieverbrauchs für Heizung, Warmwasser und Beleuchtung. Dies macht fast 20 Prozent des gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes aus.<sup>3</sup> Um die gesteckten Klimaziele zu erreichen, sind enorme Anstrengungen - insbesondere im Wärmebereich<sup>4</sup> - erforderlich.

Von den 40 %, die für Heizung, Warmwasser und Beleuchtung aufgewendet werden, entfällt mehr als die Hälfte auf Wohngebäude, danach folgen die Sektoren Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und die Gebäude der Industrie.

---

<sup>1</sup>[https://www.deutschlandfunk.de/auf-dem-weg-zur-klimaneutralitaet-die-neuen-klimaziele-fuer.2897.de.html?dram:article\\_id=496894](https://www.deutschlandfunk.de/auf-dem-weg-zur-klimaneutralitaet-die-neuen-klimaziele-fuer.2897.de.html?dram:article_id=496894)

<sup>2</sup> [https://www.bwb.de/de/assets/downloads/2020\\_nachhaltigkeitsbericht-bwb.pdf](https://www.bwb.de/de/assets/downloads/2020_nachhaltigkeitsbericht-bwb.pdf)

<sup>3</sup>[https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/Energiesparen/CO2-Gebaeudesanierung/\\_node.html](https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/Energiesparen/CO2-Gebaeudesanierung/_node.html)

<sup>4</sup> Pöschk, Jürgen (Hrsg.) Energieeffizienz in Gebäuden – Jahrbuch 2017 VWE-Verlag und Medienservice Energie, Berlin, 2017.

Nach Einsatzgebieten unterschieden, wird für Raumwärme der größte Anteil verbraucht. Der Rest entfällt auf die Bereitung von Warmwasser sowie auf die Kühlung und Beleuchtung.<sup>5</sup>

In sogenannten Niedrigenergiehäusern wird meist sogar mehr Energie für die Warmwasserbereitung benötigt als für die Raumwärme. Während die Gebäudehülle gut gedämmt wird, entweicht durch das im Durchmesser nur etwa 150 mm enge Abwasserrohr mehr Energie als über die mehrere Tausend Quadratmeter große Gebäudehülle. Das letzte Loch in der modernen Gebäudetechnik, die Abwasserleitung, gilt es durch eine dezentrale Wärmerückgewinnung (WRG) aus häuslichem Abwasser zu stopfen.

Ein systematischer Konzeptansatz der dezentralen Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser für die energetische Optimierung des Wohnungsbestands und zur Implementierung im Neubau soll als weiterer - bisher noch wenig beachteter - Baustein zur Reduzierung des CO<sub>2</sub> Anstiegs beitragen.

Das Projektziel ist, die ungenutzte Abwasserwärme aus Gebäuden (im Wohnungsbereich liegt das Potenzial bei ca. 650 - 850 kWh pro Person und Jahr), die üblicherweise die Umwelt belastet, bereits im Gebäude zur Trinkwassererwärmung einzusetzen. Die dezentrale Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser wird u. a. zu weniger Stadterwärmung, niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emissionen und niedrigeren Betriebskosten beitragen.

Der Markt für technisch ausgereifte und zugleich positiv erprobte Lösungen entwickelt sich zunehmend. Im März 2016 wurde deshalb vom Autor ein Antrag auf Förderung der dezentralen Wärmerückgewinnung beim Umweltministerium eingereicht, der im November 2017 unter dem Titel „Kleinserienförderung“ bewilligt wurde<sup>6</sup>. Die Laufzeit für die Kleinserienförderung war auf 3 Jahre beschränkt. Da der Planungsprozess für den Baustein Wasserrecycling und Wärmerückgewinnung frühzeitig, möglichst noch vor der Vorplanung des Gebäudes beginnen sollte und vom Planungsbeginn bis zur Fertigstellung des Gebäudes oftmals sogar mehr als 3 Jahre vergehen, war der Förderungszeitraum kurz bemessen.

**Das hier durch die DBU geförderte Projekt soll den Transformationsprozess für die dezentrale Abwärmenutzung aus häuslichem Abwasser technisch und informativ beflügeln.**

---

<sup>5</sup> BMWi: Sanierungsbedarf im Gebäudebestand - Ein Beitrag zur Energieeffizienzstrategie Gebäude, 2014. <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/sanierungsbedarf-im-gebaeudebestand,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>

<sup>6</sup> <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/amtliche-veroeffentlichung?4>



Die Wärmerückgewinnung soll aus häuslichem Abwasser möglichst viel Primärenergie und CO<sub>2</sub> einsparen und gleichzeitig die Betriebskosten reduzieren.

Die technologischen, planerischen und monetären Herausforderungen bestehen darin, dass dezentrale WRG-Anlagen

1. möglichst viele Abwasserwärmequellen für die Wärmerückgewinnung im Gebäude nutzen,
2. möglichst wartungsarm, störunanfällig und langlebig sind,
3. bei hohen Energierückgewinnungsraten einen niedrigen Eigenenergiebedarf aufweisen, d.h. ein hoher Coefficient of Performance (COP) ist gefordert,
4. sich im Winter- als auch im Sommerbetrieb gut in das Gesamtenergiekonzept des Gebäudes einpassen und
5. im Vergleich zu anderen Maßnahmen der Energie- und CO<sub>2</sub>-Reduzierung einen finanziellen Vorteil aufweisen.

## 2. Technische Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung

Abwasserwärme zu ernten ist auf verschiedene Weise möglich. Der wohl bekannteste Weg ist die **zentrale** Lösung, einen Wärmetauscher in den Abwasserkanal einzubringen und die entnommene Wärme über eine Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau anzuheben. Neben rechtlichen, organisatorischen und auch technischen Problemen ist prinzipiell festzustellen, dass das Abwasser am Punkt der Wärmeentnahme meist schon so weit abgekühlt ist, dass es nur noch um weitere ca. 1,5 K abgekühlt werden kann und im Winter - z. B. während der Schneeschmelze - zeitweise ganz auf die Wärmeentnahme verzichtet werden muss.

In Berlin wurden lt. Angaben der Berliner Wasserbetriebe (BWB) bisher 13 Projekte umgesetzt, ungefähr 16 weitere sollen sich in der Pipeline befinden.<sup>7</sup> Zu den Betriebsergebnissen liegen bisher keine wissenschaftlichen Untersuchungen bzw. zugängliche Auswertungen vor.

Für Wien ist geplant, die Abwasserwärme aus der Kanalisation über Wärmepumpen (COP 2,55 bis 3,36) auf ein Temperaturniveau von 65 bis 90°C zu erhitzen und in das städtische Wärmenetz einzuspeisen. Die Realisation und Demonstration wurde aus wirtschaftlichen Gründen nicht durchgeführt.<sup>8</sup>

Ressourceneffizienter erscheint der **dezentrale** Weg, die Wärmerückgewinnung bereits im Gebäude zu praktizieren, wo das Abwasser noch ein hohes Temperaturniveau aufweist.

---

<sup>7</sup> Wortprotokoll Ausschuss für Wirtschaft, Energie, Betriebe – 65. Sitzung am 22.02.2021. <https://www.parlament-berlin.de/C1257B55002AD428/CurrentBaseLink/W29ASL7D644DEVSD?Open&Wahlperiode=18&Vorgang=0276&Ausschuss=Ausschuss%20f%C3%BCr%20Wirtschaft,%20Energie,%20Betriebe>

<sup>8</sup>Wiedemann, R., et al: Innovative Abwärmenutzung aus dem Kanal für die netzgebundene Wärmeversorgung-in nachhaltige technologien, S. 9 ff. AEE 03/2021.

Hierzu werden unterschiedliche Varianten der Wärmeentnahme betrachtet.

- Wärmeauskopplung aus dem gesamten Abwasserstrom – ohne das Abwasser vorher zu behandeln
- Wärme den einzelnen Teilströmen (Grauwasser und Schwarzwasser) getrennt zu entnehmen
  - Wärmeentnahme vor der Abwasserbehandlung
  - Wärmeentnahme nach der Abwasserbehandlung
- Wärme lediglich dem unbehandelten Duschwasser zu entnehmen

Als Wärmesenke wird im Folgenden die Warmwasserbereitung, also die Vorerwärmung des kalten Trinkwassers betrachtet, weil hier ein ganzjähriger Bedarf besteht und Wärmeeinfall sowie Wärmebedarf zeitlich und räumlich relativ eng beieinander liegen.

### 3. Betrachtung der Wärmepotenziale im häuslichen Abwasser

Im Folgenden werden fünf Projekte betrachtet, in denen das Grauwasser getrennt vom übrigen Abwasser erfasst wird, wobei die Grauwasserquellen recht unterschiedlich sind. In zwei Projekten wird lediglich das Grauwasser aus Badewannen und Duschen erfasst, in anderen werden auch die Handwaschbecken mit einbezogen bis hin zu den Waschmaschinen und dem hoch belasteten Küchenabwasser. In drei Projekten wird die Wärmerückgewinnung praktiziert bzw. erprobt.

**Berlin; Block 6** – Mietwohnungen – 4-geschossig – ohne Wärmerückgewinnung  
Grauwasserquellen aus insgesamt 73 Wohn- und 1 Gewerbeeinheit (Baujahr: 1986).  
Grauwasseranfall: 14 – 18 m<sup>3</sup>/d aus:

- Badewannen,
- Duschen,
- Handwaschbecken,
- Waschmaschinen,
- Küchen.

Das Wasserrecycling mit hoch belastetem Grauwasser wird hier seit 2006 erfolgreich betrieben.

Eine Wärmerückgewinnung ist hier nicht vorhanden, die Gebäude beziehen ihre Wärme ausschließlich über Fernwärme.

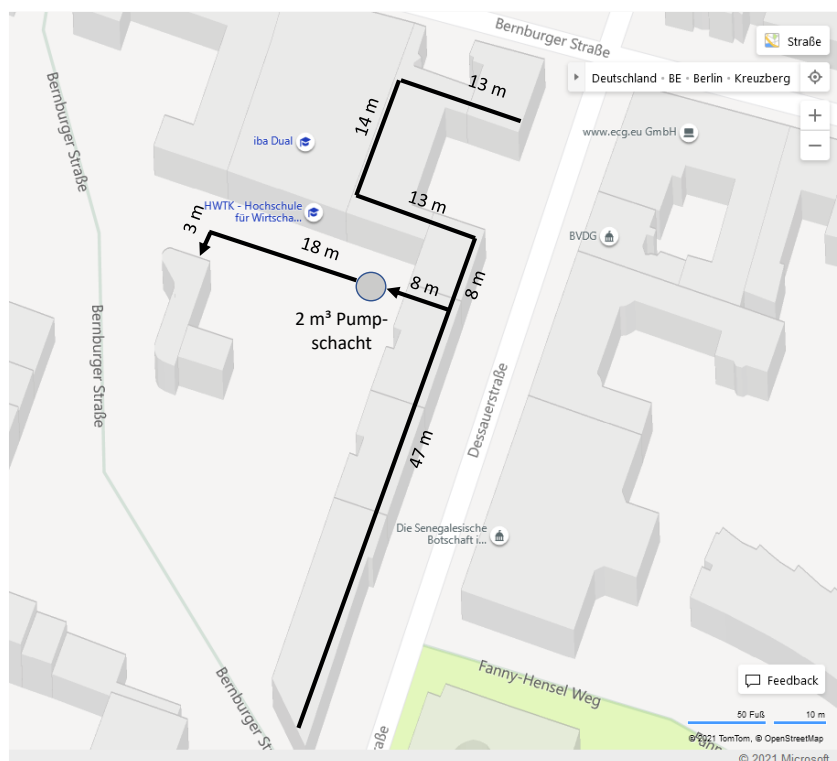


Abbildung 1: Grauwassersammelleitungen Block 6 (Faserzementrohre).

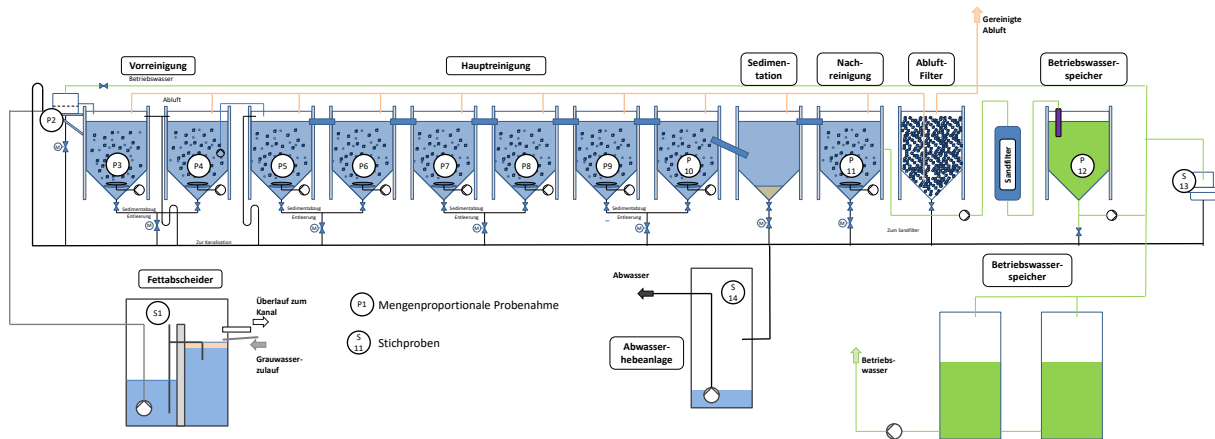


Abbildung 2. Fließbild der Grauwasserrecyclinganlage.

Die folgende Abbildung 3 zeigt, dass das in die Grauwasserrecyclinganlage zufließende Grauwasser im Mittel nur um 9,6 °C und das aufbereitete Grauwasser (Betriebswasser) im Jahresmittel um 8,9°C wärmer ist als das Trinkwasser. Obgleich das außenstehende Gebäude, in dem sich die Grauwasserrecyclinganlage befindet, unbeheizt ist, unterscheiden sich die Temperaturen vor und nach der Aufbereitung nur geringfügig. Im ersten Halbjahr und im letzten Quartal des Jahres 2020 wird dem Grauwasser während der Aufbereitung etwas Wärme entzogen, während es von Anfang Juni bis Ende September an Wärme gewinnt.

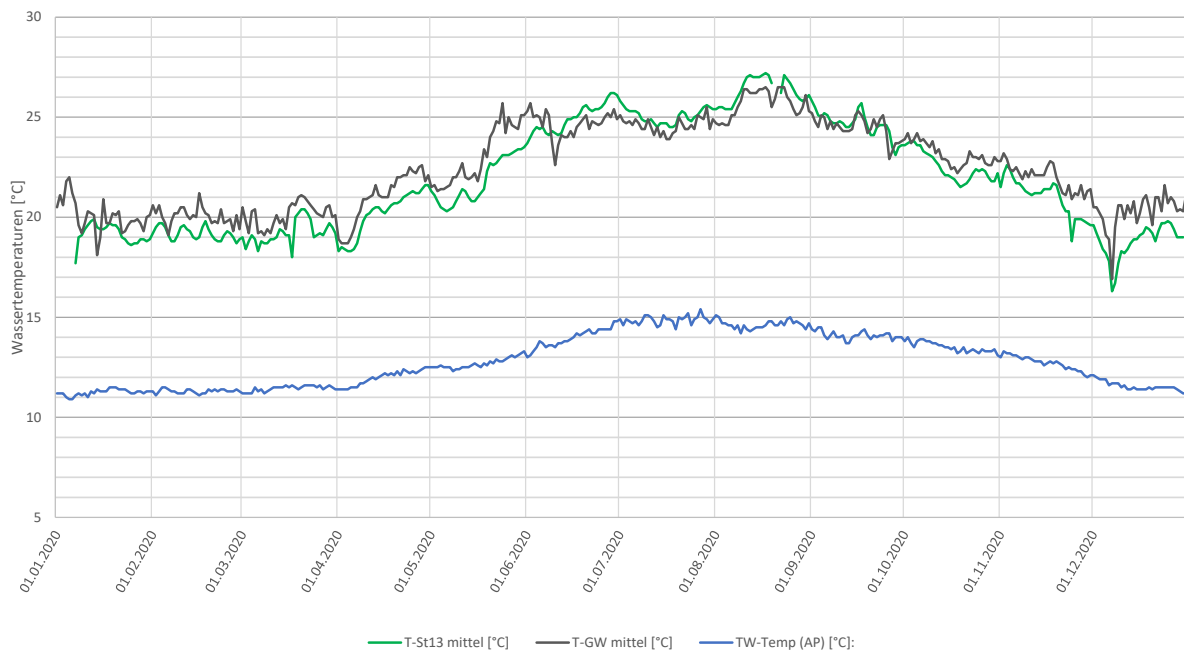


Abbildung 3: Darstellung der gemittelten Tagestemperaturen für Trinkwasser, zufließendes Grauwasser (P2) sowie Betriebswasser (P13).

Durch die im Boden oder Kellerraum ungedämmten Rohrleitungen aus Faserzement und einer gewissen Aufenthaltszeit im Fettabscheider (S1), verliert das Grauwasser auf dem Weg zur Behandlung und Wärmerückgewinnung Energie. Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Summenhäufigkeit und die prozentuale Temperaturverteilung des zufließenden Grauwassers im Jahresmittel sowie in den ausgewählten Monaten Januar, April, Juli und Oktober 2020. Im

Jahresmittel (durchgezogene blaue Linie) hat das Grauwasser eine mittlere Zulauftemperatur von 22,3 °C, während sie im Januar 19,9 °C und im Juli 24,2 °C beträgt. Im Januar kühlt das Grauwasser auf dem Weg zur Grauwasserrecyclinganlage deutlich stärker ab als im Sommer, was auch durch die unterschiedliche Steigung der einzelnen Monatskurven verdeutlicht wird.

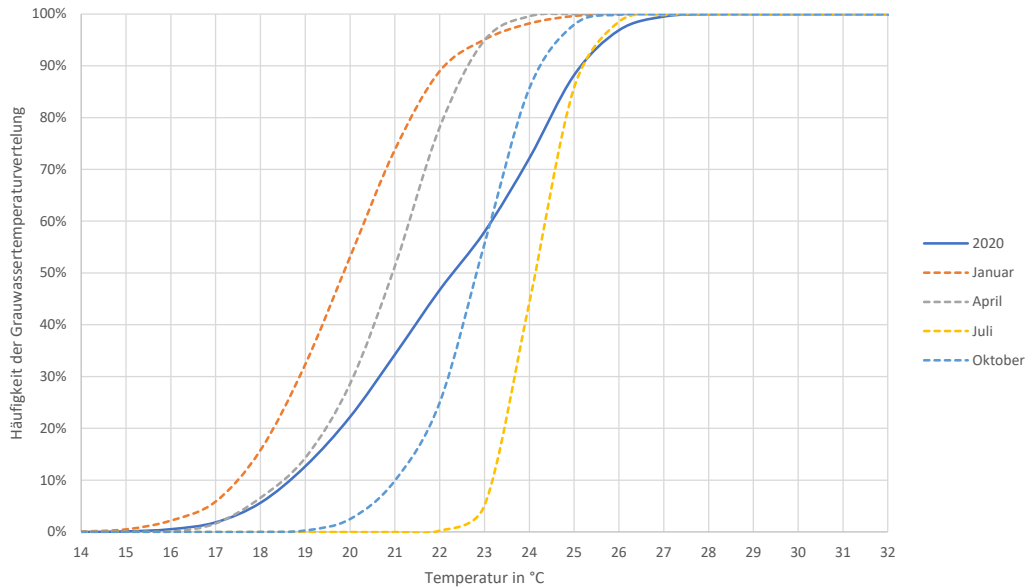


Abbildung 4: Zulauftemperatur mengenbewertet über ein Jahr 2020

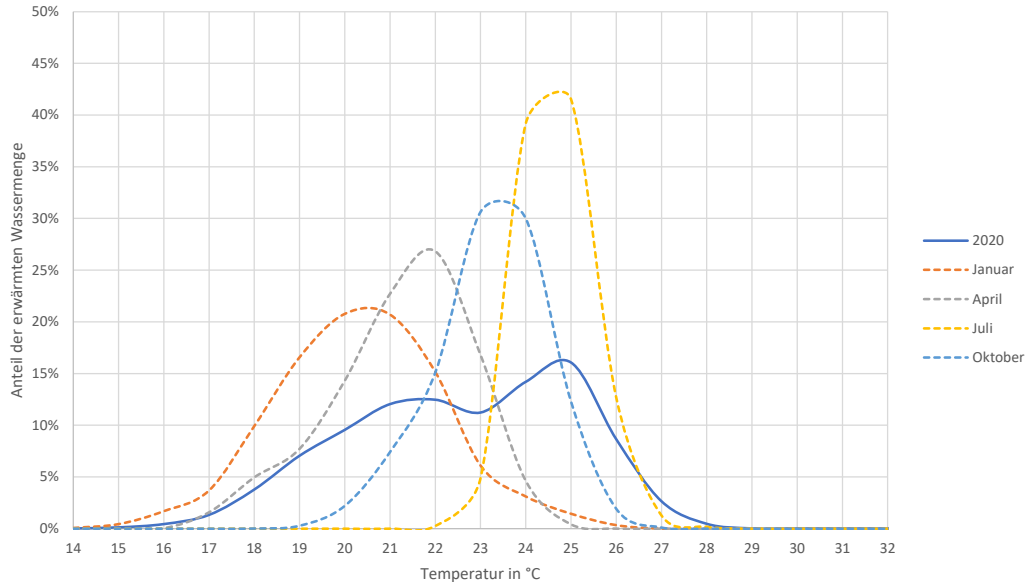


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilungen der mengenbewerteten Grauwasserzulauftemperaturen (Messpunkt P2).

Lange Leitungswege und nicht vorhandene Dämmung sind die Ursache dafür, dass die Grauwassertemperaturen im Laufe des Jahres großen Schwankungen unterliegen (siehe Abbildung 4).

**Berlin; Passivhaus Arnimplatz** – 6-geschossig (Wärmerückgewinnung ohne Wärmepumpe)

Grauwasserquellen aus insgesamt 40 Wohn- und 6 Gewerbeeinheiten (Baujahr: 2011) mit ca. 123 Bewohnern. Der Grauwasseranfall beträgt ca. 3-4 m<sup>3</sup>/d aus:

- Duschen
- und Badewannen.

Eine Wärmerückgewinnung aus Grauwasser ist seit 2011 vorhanden und die ungedämmten Kunststoffrohrleitungen zur Grauwassererfassung befinden sich ausnahmslos im Baukörper. Die Gebäude beziehen ihre Raumwärme aus einem im Gebäude untergebrachten Gas-BHKW, aus dem auch die Wärme für die finale Warmwasserbereitung stammt. Für den Notfall steht darüber hinaus eine Gastherme zur Verfügung.

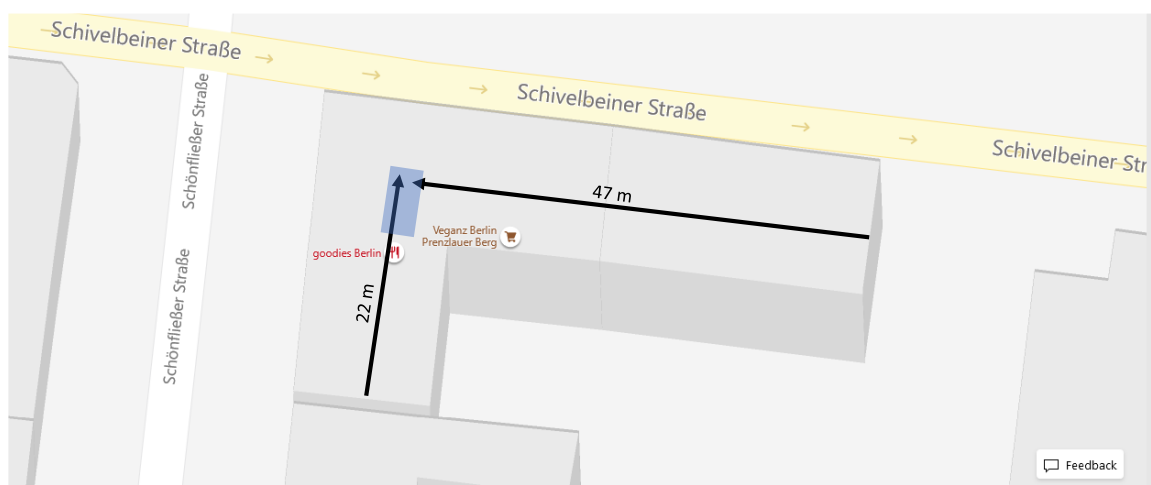


Abbildung 6: Grauwassererfassung an der Grauwasserrecyclinganlage am Arnimplatz (Low Noise Kunststoffrohr).

Da der Kellerraum im Passivhaus über eine Dämmung verfügt und das BHKW Wärme abstrahlt, sinkt die Raumtemperatur nicht unter 25°C, eine Dämmung des Pufferspeichers ist deshalb nicht erforderlich (siehe Abbildung 7).



Abbildung 7: Ungedämmte blaue Grauwasserleitungen - links daneben der 400 Liter fassende ebenfalls ungedämmte Wärmepufferspeicher im warmen BHKW Heizungsraum.

Während die über den Tag gemittelte Grauwassertemperatur über das gesamte Jahr gesehen recht konstant bleibt, steigt die Trinkwassertemperatur im Sommer deutlich an. Der geringere Grauwasseranfall in den Sommermonaten ist im Zusammenhang mit der Ferienzeit zu sehen.

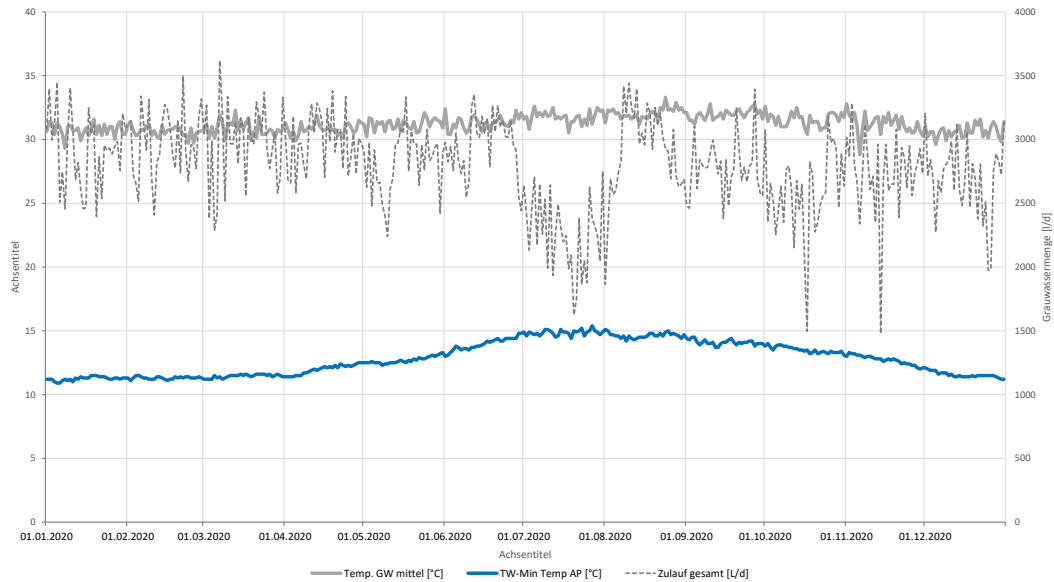


Abbildung 8: Tagesmittelwerte zum Grauwasseranfall sowie der mittleren Grauwasser- und minimale Trinkwassertemperatur.

Abbildung 9 zeigt, dass die Grauwassertemperaturen in dem Passivhaus deutlich höher liegen und geringere Schwankungen aufweisen als im Block 6 (siehe Abbildung 4).

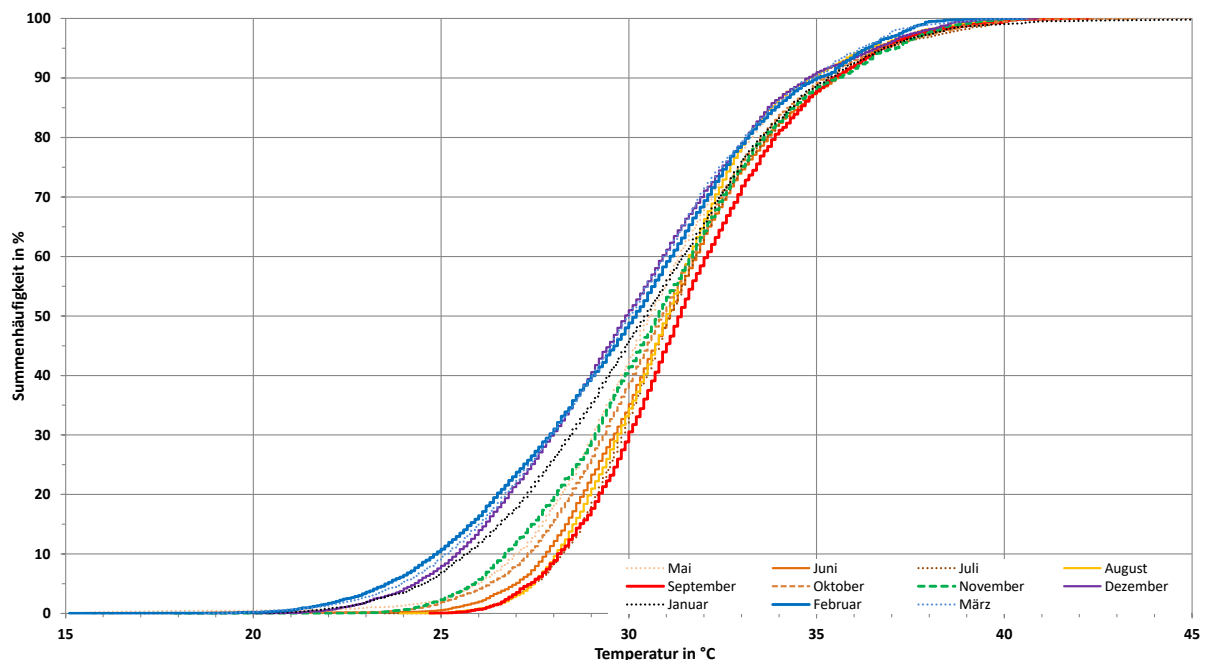


Abbildung 9: Summenhäufigkeit der Grauwassertemperaturen – gemessen im Anlagenzulauf.

## **Frankfurt a. M.; Passivhaus Salvador-Allende Str. – Mietwohnungen – 6-geschossig, WRG mit Wärmepumpe**

Grauwasserquellen aus insgesamt 28 Wohn- und 1 Gewerbeeinheit (Baujahr 2015).  
Grauwasseranfall: ca. 3-4 m<sup>3</sup>/d aus:

- Duschen,
- Badewannen,
- und Handwaschbecken.

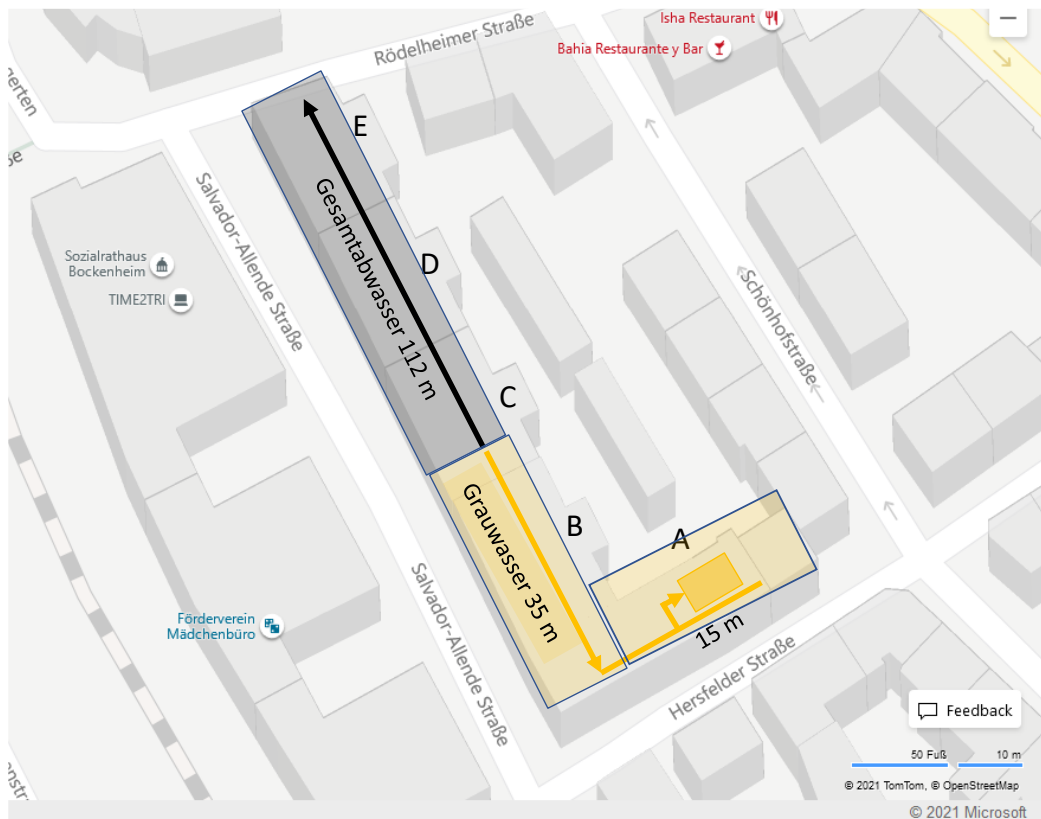


Abbildung 10: Leitungsführung zur Grauwassererfassung und Wärmerückgewinnung für die Bauteile A, B und C sowie Wärmerückgewinnung aus dem Schmutzwasser der Bauteile C, D und E.

Eine Wärmerückgewinnung aus Abwasser (Grauwasser und Schwarzwasser) mittels Wärmepumpe ist für die Warmwasserbereitung vorhanden. Die Gebäude beziehen ihre Raumwärme und einen weiteren Teil für die Warmwasserbereitung über eine Gastherme.

Abbildung 11 zeigt, dass insgesamt vier Abwasserwärmetauscher verbaut wurden. In den Bauteilen A, B und C (anteilig) wird das Grauwasser aus Badewannen, Duschen, Handwaschbecken und Waschmaschinen, getrennt vom übrigen Abwasser aus Toiletten und Küchen, erfasst. Beiden Fraktionen wird mittels Wärmepumpe und Rohrwärmetauscher (AWT 2 und AWT 3) getrennt Wärme entzogen. Nachdem AWT 2 dem Grauwasser so viel Wärme wie möglich entzogen hat und das Grauwasser mittels Wirbelbettverfahren behandelt wurde, wird dem Betriebswasser nochmals Wärme über einen Rohrwärmetauscher entnommen (AWT 4).



Mit AWT 1 wird dem gesamten Schmutzwasser der Häuser D und E sowie anteilig aus C (das entspricht insgesamt 38 Wohneinheiten), Wärme entnommen. Die Raumwärme wird über einen Gasbrennwertkessel erzeugt, auf dem Dach sind PV-Module montiert.

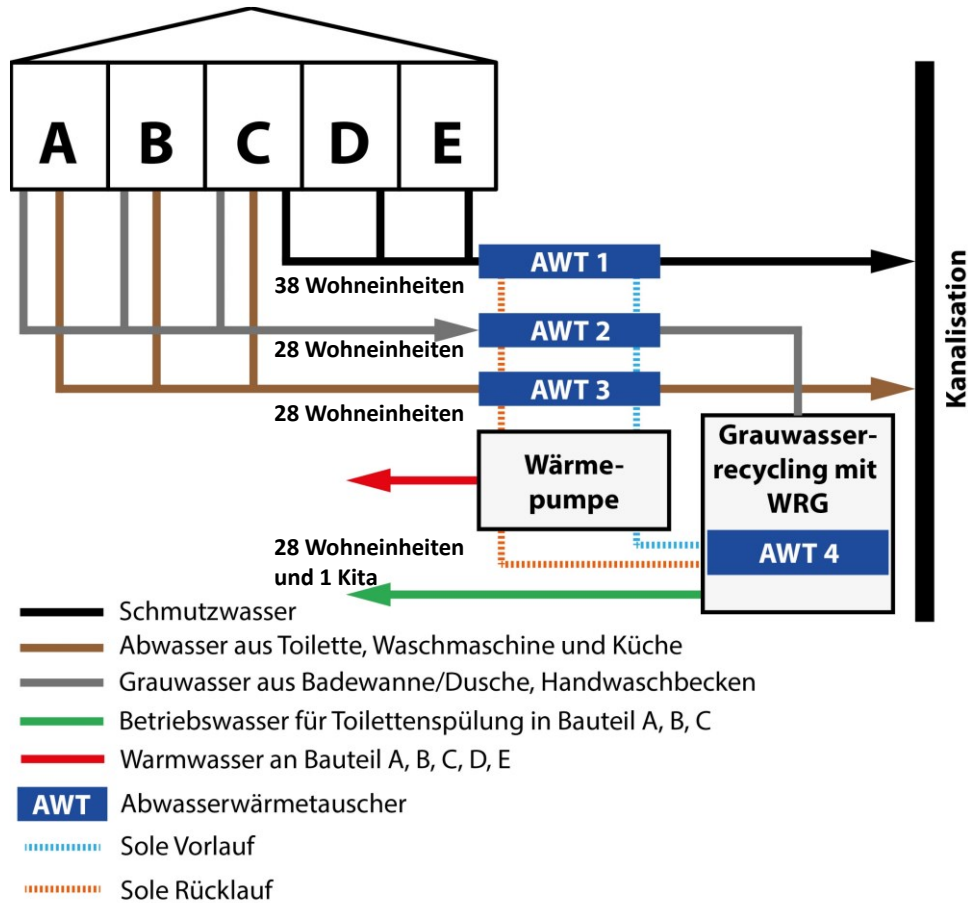


Abbildung 11: Wärmerückgewinnung und Grauwasserrecycling. Zuordnung zu den jeweiligen Bauteilen.

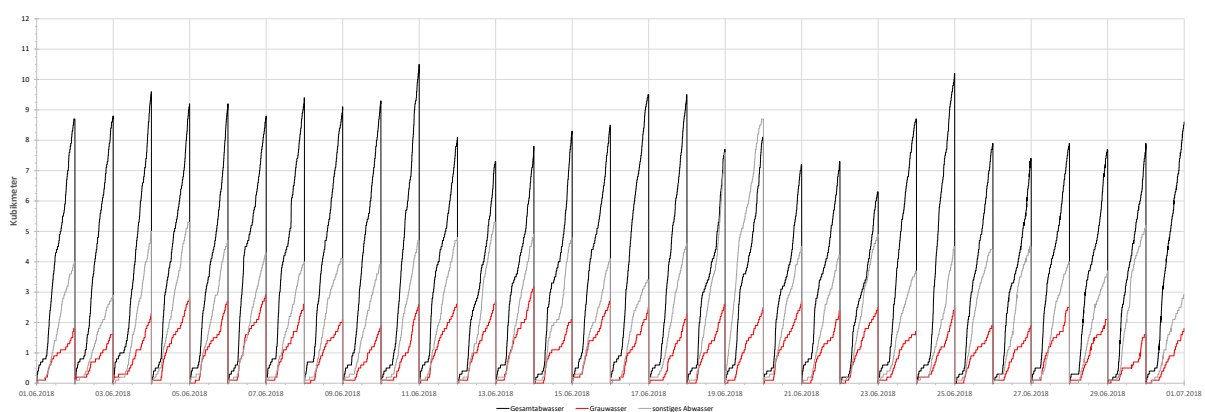


Abbildung 12: Über 24 Stunden aufsummierte Gesamtabwassermengen von 38 WE, sowie das Grau- und sonstiges Abwasser aus 28 WE, dargestellt für den Monat Juni 2018. Summen für den Monat Juni 2018: Gesamtabwasser 254,7 m<sup>3</sup>, Grauwasser 70,1 m<sup>3</sup>, sonstiges Abwasser 17,6 m<sup>3</sup>.

Die durchschnittliche tägliche Abwassermenge für den Gebäudebereich A, B und C (mit getrennter Grauwassererfassung) lag bei 247 Liter je Wohneinheit, die für die

Gebäudebereiche C, D und E (ohne getrennte Grauwassererfassung) lag bei 223 Liter je Wohneinheit.

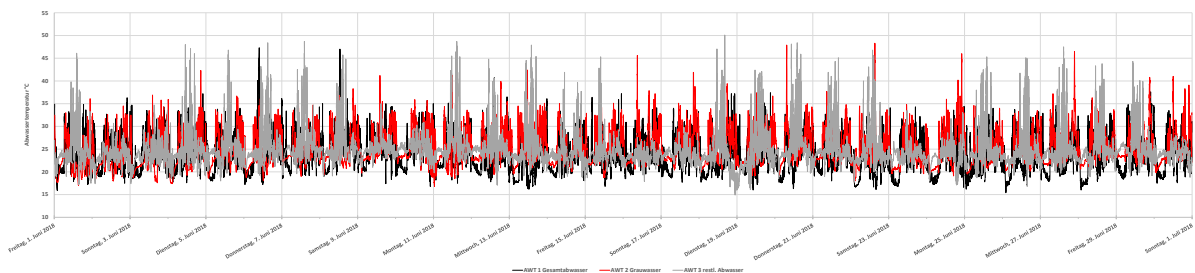


Abbildung 13: Temperaturverläufe, gemessen in den Zuläufen der Rohrwärmetauscher für Gesamtabwassermengen von 38, sowie das Grau- und sonstiges Abwasser aus 28 WE, dargestellt für den Monat Juni 2018.

Mit Ausnahme der Wochenenden wurden regelmäßig erstaunlich hohe Abwassertemperaturen – zeitweise über 45°C – im restlichen Abwasser aus Küchen, Waschmaschinen und Toiletten gemessen.

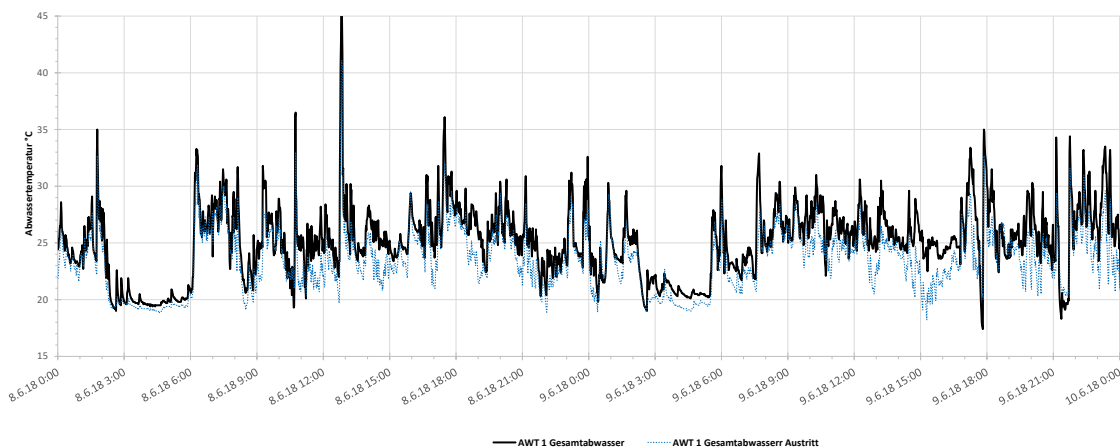


Abbildung 14: Zu- und Ablauftemperaturen des Wärmetauschers AWT 1 (12 m SML-Rohrwärmetauscher) für das Gesamtabwasser aus 38 WE, gemessen von Freitag dem 08.06. bis Samstag den 09.06.2018.

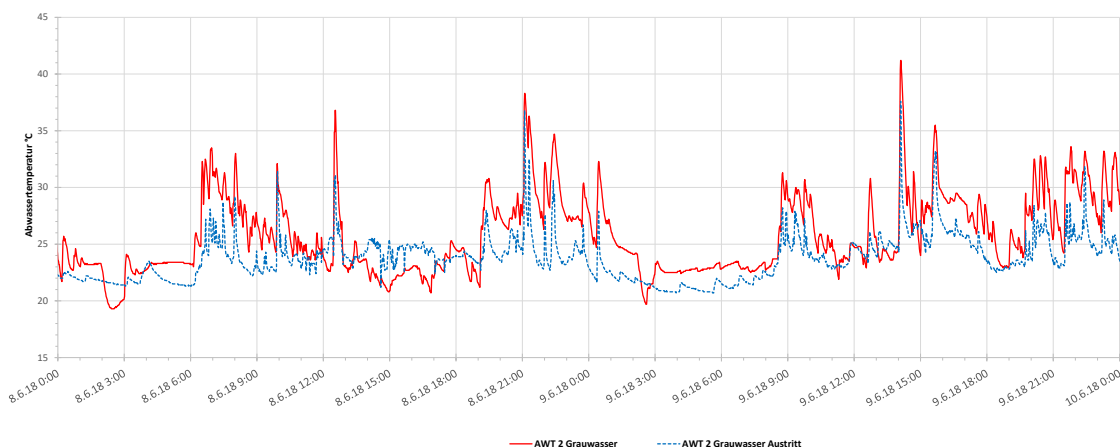


Abbildung 15: Zu- und Ablauftemperaturen des Wärmetauschers AWT 2 (6 m SML-Rohrwärmetauscher) für das Grauwasser aus 28 WE, gemessen von Freitag dem 08.06. bis Samstag den 09.06.2018.

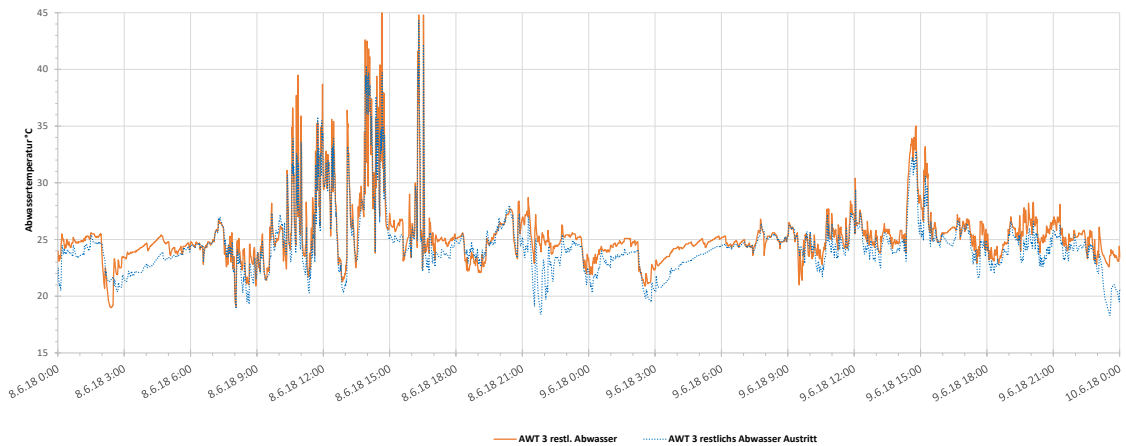


Abbildung 16: Zu- und Ablauftemperaturen des Wärmetauschers AWT 3 (6 m SML-Rohrwärmetauscher) für das sonstige Abwasser aus 28 WE, gemessen von Freitag dem 08.06. bis Samstag den 09.06.2018.

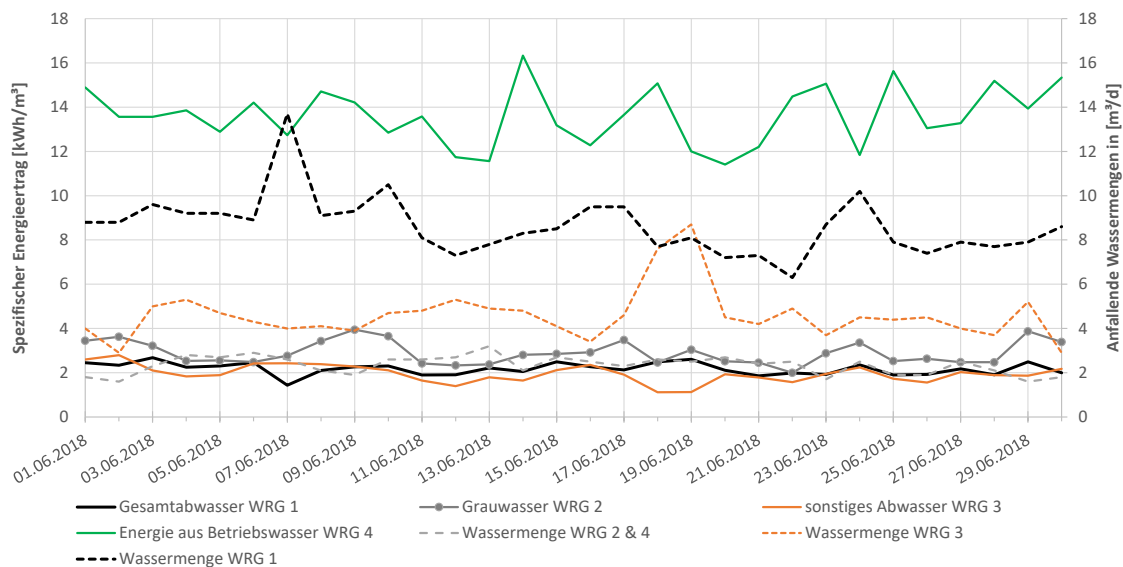


Abbildung 17: Wassermengen und Energieerträge im Juni 2018.

**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bis **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigen, dass in keinem der SML-Rohrwärmetauscher - auch nur annähernd - das Abwasser auf 10°C abgekühlt werden konnte, was das Ziel des Wärmepumpeneinsatzes sein sollte.

Daraus ergibt sich ferner, dass diese Bauform der Wärmeübertragung ohne Wärmepumpe erst recht nicht zielführend sein kann.

**Berlin; KfW-40 Haus Marienburger Straße** – Mehrfamilienhaus – 6-geschossig – ohne Wärmerückgewinnung

Grauwasserquellen aus insgesamt 16 Wohn- und 1 Gewerbeeinheit (Baujahr: 2006)  
Grauwasseranfall: ca. 1 - 1,5 m<sup>3</sup>/d, lediglich aus:

- Duschen und
- Badewannen.

Grauwasser wird mittels Wirbelbettverfahren aufbereitet. Wärme aus 43 m<sup>2</sup> thermischer Solaranlage und 90 kW Holzpelletheizung.

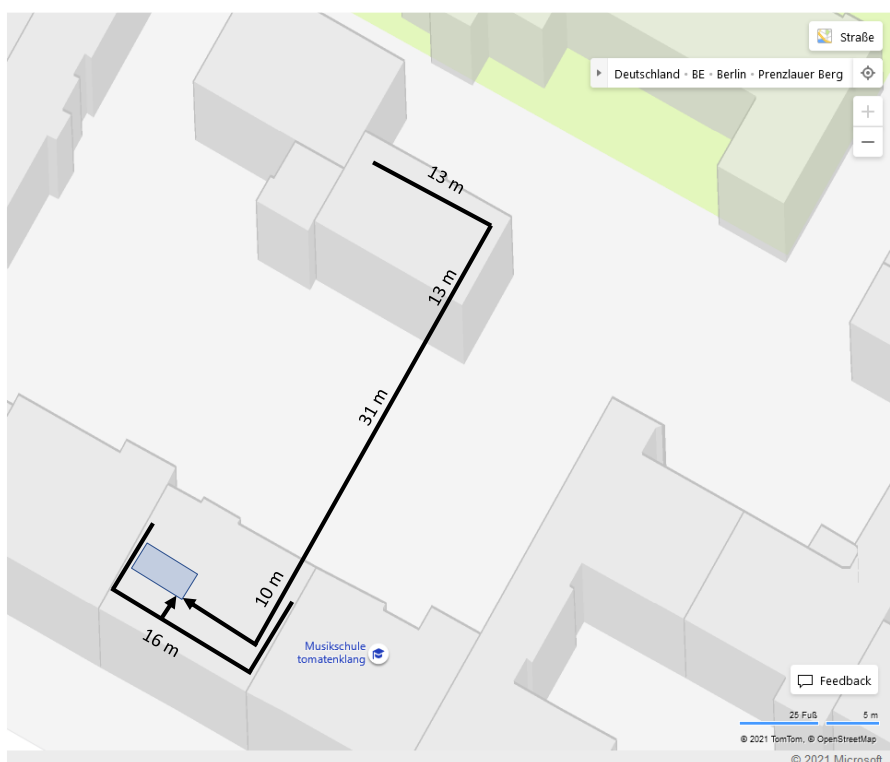


Abbildung 18: Grauwassersammelleitungen Marienburger Straße 31A (SML-Rohr (nur im Außenbereich gedämmt)).

Abbildung 19 zeigt die mittleren Grauwassermengen und -temperaturen, die der Grauwasserrecyclinganlage zugeführt werden sowie die minimalen Kaltwassertemperaturen, gemessen unmittelbar nach dem Hauswasserzähler.

Die Grauwassertemperaturen bewegen sich im Bereich zwischen 20 und 25 °C. Abgesehen von den Ferienzeiten liegt der tägliche Grauwasseranfall bei lediglich 1 bis 1,5 m<sup>3</sup>. Der vergleichsweise niedrige Grauwasseranfall bei relativ niedrigen Grauwassertemperaturen zeigt, dass der Warmwasserwärmebedarf von 30 bis 60 kWh/d bereits rein rechnerisch und ohne Einbezug der Verluste einen eher niedrigen Anteil zur Warmwasservorerwärmung beitragen kann (siehe hierzu auch Abbildung 20 und Abbildung 21).

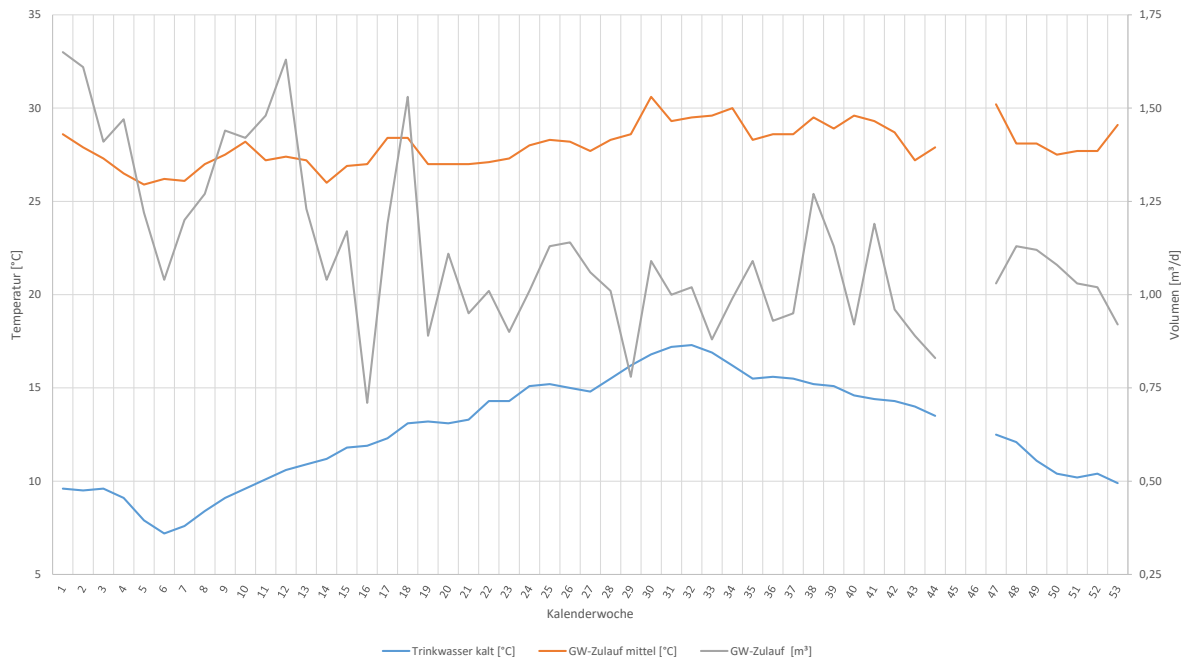


Abbildung 19: Temperaturverläufe des kalten Trinkwassers, des Grauwassers sowie die Grauwassertemperaturen, dargestellt als tägliche Mittelwerte je Kalenderwoche.

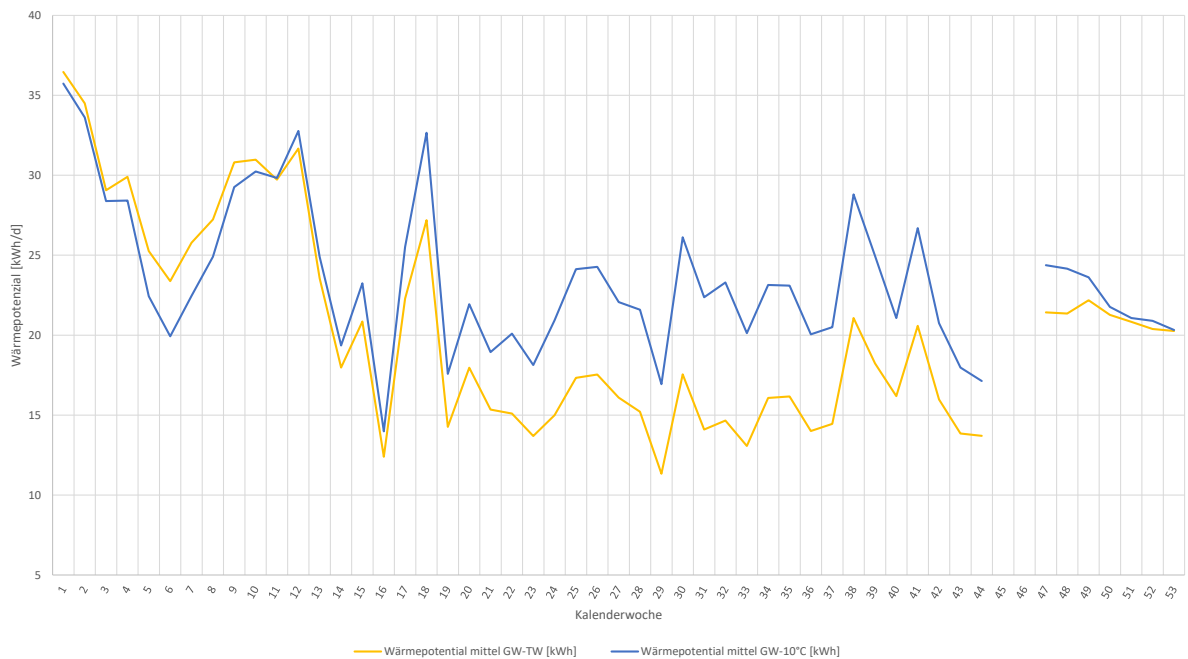


Abbildung 20: Nutzbares Wärmepotential des Grauwassers durch Abkühlung auf die aktuelle Trinkwassertemperatur bzw. auf 10°C, dargestellt als tägliche Mittelwerte je Kalenderwoche.

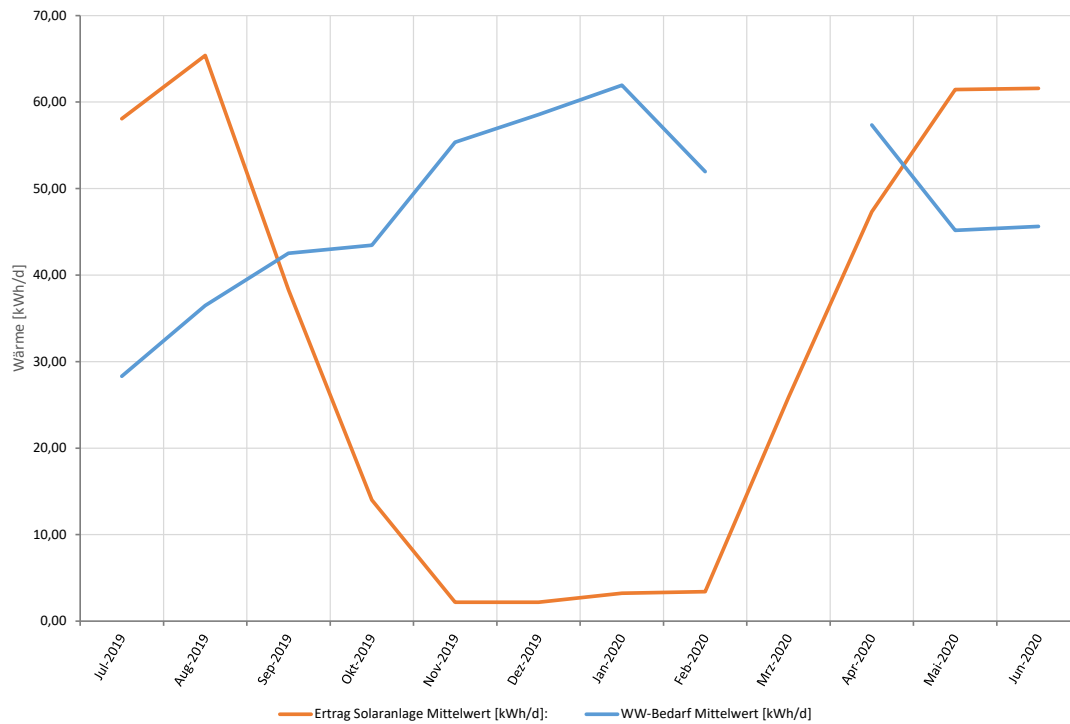


Abbildung 21: Gemessene Solarmonatserträge mittels 43 m<sup>2</sup> Flachkollektoranlage im Vergleich mit dem errechneten Energiebedarf um den Warmwasserbedarf auf 60°C zu erhitzen (ohne Zirkulationsverluste).

Abbildung 21 zeigt, dass die Solaranlage zwischen Mai und August höhere Erträge liefern kann als tatsächlich für die Warmwasserbereitung benötigt werden, während für die übrige Zeit ohne entsprechend große Puffer eine nur unwesentliche Wärmemenge bereitgestellt werden kann

**Leipzig; Altbausanierung Seniorenwohnheim** – ohne Grauwasserrecycling sowie ohne Wärmerückgewinnung

**Grauwasseranfall; Betriebs- und Warmwasser sowie Wärmebedarfe, die durch Holzpellets zu decken sind.**

Das Gebäude dient als Einrichtung zum betreuten Wohnen. 35 Wohneinheiten beherbergen ca. 40 Personen, tagsüber befinden sich zusätzlich fünf, nachts eine Mitarbeitende im Gebäude (Stand Juni 2019). Gekocht wird mit Strom.

Installationstechnisch wurde eine Trennung zwischen Grauwasser und Schwarzwasser (beides KG-Rohr) und die Installation eines Betriebswassernetzes (Edelstahlrohr) für die Toilettenspülung realisiert. Das Gebäude ist ferner mit einer Holzpelletheizung, PV inkl. Batterien sowie einer Solarthermianlage ausgerüstet.

Hier steht die Entscheidung an, Grauwasser zukünftig zu recyceln, dieses mit einer Wärmerückgewinnung (mit oder ohne Wärmepumpe) zu realisieren.

Ab Mai 2018 bis Februar 2019 wurden der Betriebs- sowie der Warmwasserbedarf kontinuierlich im 30 Sekundentakt aufgezeichnet. Die messtechnische Erfassung des Grauwasseranfalls ist mit einem vergleichsweise hohen Wartungsaufwand der Messeinrichtung verbunden – er konnte deshalb nur über einen Monat vom 15.05.18 bis zum 13.06.18 erfasst werden.

Der Grauwasseranfall kann über das Jahr betrachtet als relativ konstant angenommen werden. Der mittlere Grauwasseranfall betrug im Durchschnitt 1.099 l/d, der Warmwasserbedarf über das Jahr gemittelt 894 l/d. Der Betriebswasserbedarf war mit 1.780 bis 1.830 l/d relativ konstant, aber stets deutlich höher als der Grauwasseranfall. Relativ selten wurden erhöhte Tagessummen des Betriebswasserbedarfs registriert, die vermutlich auf zeitweise nicht einwandfrei arbeitende Spülkästen zurückgeführt werden können.

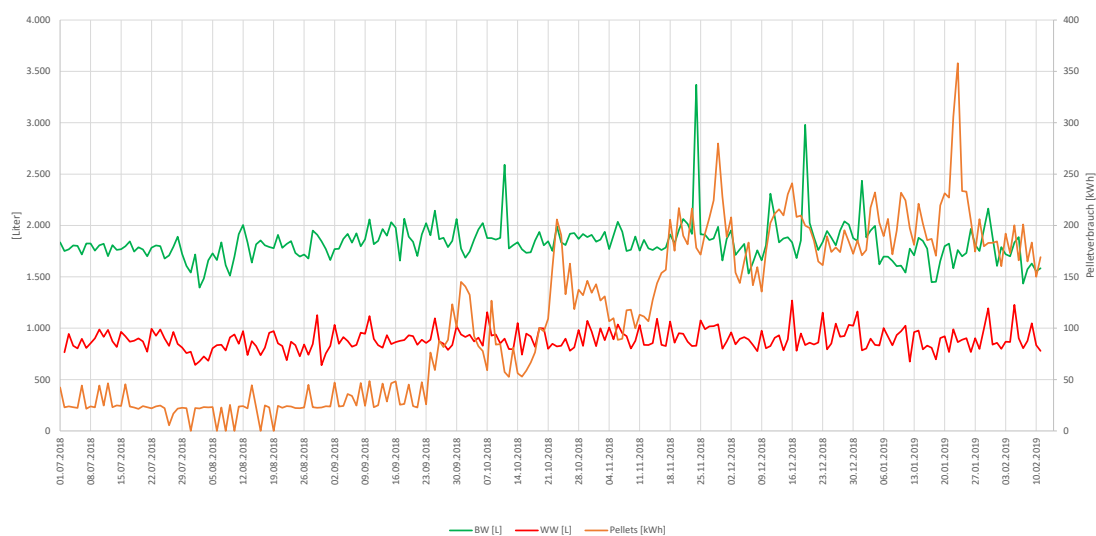


Abbildung 22: Betriebs- und Warmwasser- sowie Holzpelletbedarfe.

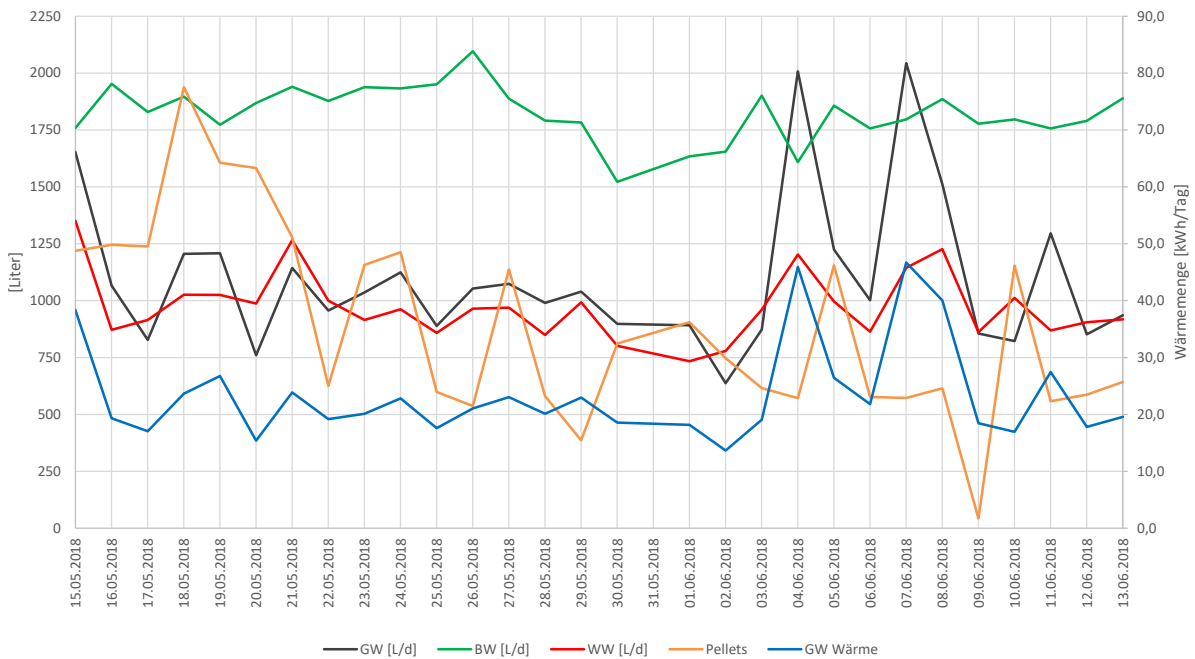


Abbildung 23: Tagesverbräuche Kaiserliches Postamt – Mai 2018

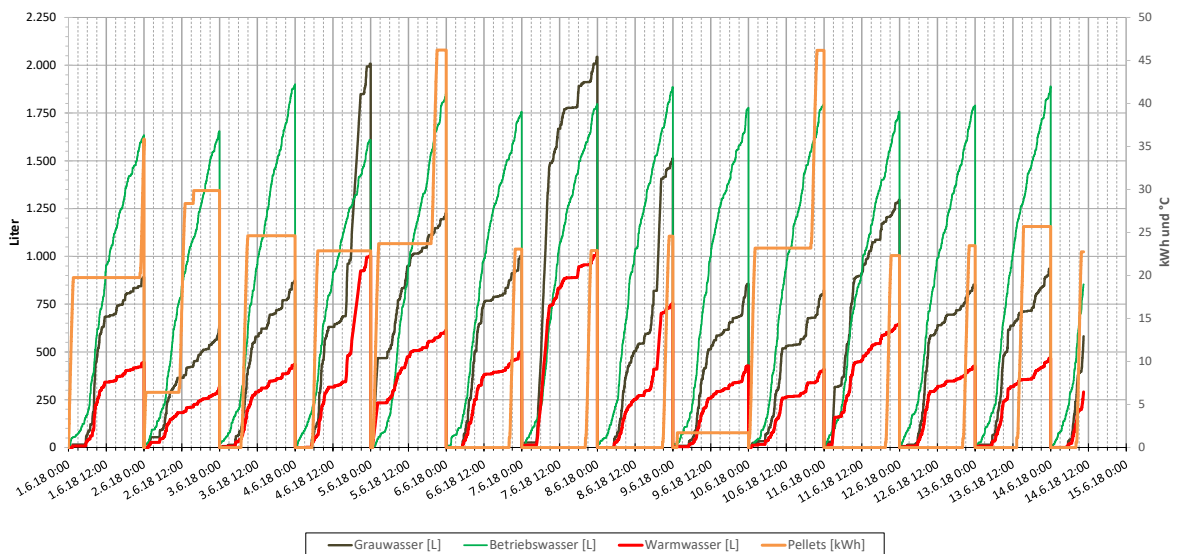


Abbildung 24: Tagesverbräuche Kaiserliches Postamt - Juni 2018

Abbildung 23 zeigt, dass bei dem geringen Grauwasseranfall aus Duschen, Badewannen, Handwaschbecken und Waschmaschinen der derzeitige Bedarf an Betriebswasser nur zu ca. 60 % gedeckt werden kann.

Da der Grauwasseranfall nur über einen kurzen Zeitraum aufgezeichnet wurde, wird in Abbildung 25 der vom 05.05 – 31.05.2018 aufsummierte Betriebswasserbedarf und der Grauwasseranfall im Tagesverlauf dargestellt. Der größte Teil des Betriebswasserbedarfs wird zwischen 7 Uhr und 12 Uhr, der des Grauwasseranfalls zwischen 6 Uhr und 10 Uhr registriert.



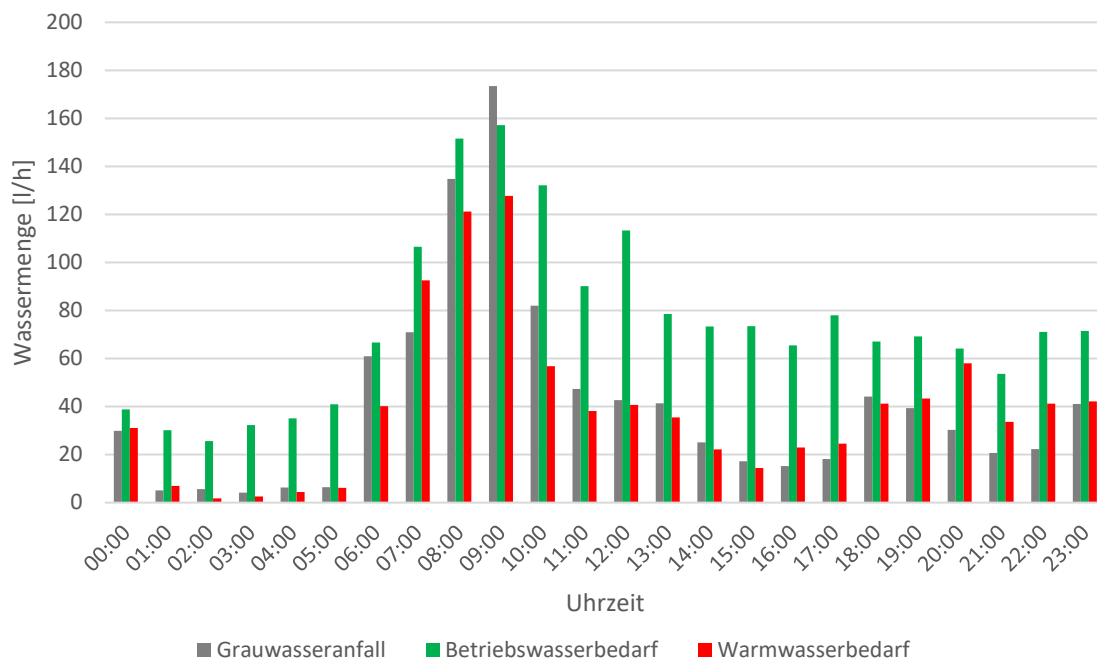


Abbildung 25: Summierter Wasserbedarf / Anfall nach Tageszeit zwischen 07.05. - 31.05.2018. Tagesdurchschnittsmengen über 25 Tage: Grauwasser: 0,986 m<sup>3</sup>, Betriebswasser: 1,788 m<sup>3</sup>; Warmwasser: 0,951 m<sup>3</sup>

### Warmwasserenergiebedarf

Von Mai 2018 bis Dezember 2018 wurde ein übers Jahr relativ konstant bleibender Warmwasserverbrauch von ca. 0,9 m<sup>3</sup>/d festgestellt. Bei einer WW-Temperatur von 60 °C entspricht das (bezogen auf eine Trinkwassertemperatur von 10 °C und ohne Berücksichtigung von Zirkulationsverlusten etc.) einer Wärmemenge von ca. 52,2 kWh/d.

Aus vorigen Testversuchen wurde für die Wärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von JAZ = 4,6 als realistisch angesehen. Um den durchschnittlichen Wärmebedarf von 52,2 kWh/d zu decken, wären ca. 11,3 kWh/d an elektrischer Energie für die Wärmepumpe erforderlich. Diese Strommenge steht über die Hälfte des Jahres ohne weitere Probleme als Energie aus der PV-Anlage zur Verfügung.

### Grauwasserenergiepotential

Im Schnitt fällt, über das Jahr gemittelt, ca. 1 m<sup>3</sup>/d Grauwasser bei einer Temperatur von ca. 26 °C (Abbildung 26) an, was im Vergleich zum Passivhaus Arnimplatz (Abbildung 9) erstaunlich niedrig ist. Mithilfe einer Wärmepumpe könnte dieses Wasser auf eine Temperatur von 10 °C abgekühlt werden. Das entspricht einem Wärmepotential von ca. 18,6 kWh/d. Summiert mit der elektrischen Energie der Wärmepumpe erreicht man ca. 23,5 kWh an thermischer Energie pro Tag. Somit kann ggf. der benötigte Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung über die Abwasserwärme in Kombination mit einer Wärmepumpe und Solarthermie weitgehend gedeckt werden, ohne dass – insbesondere in den Sommer- und Übergangsmonaten – die Pelletheizung einspringen müsste.

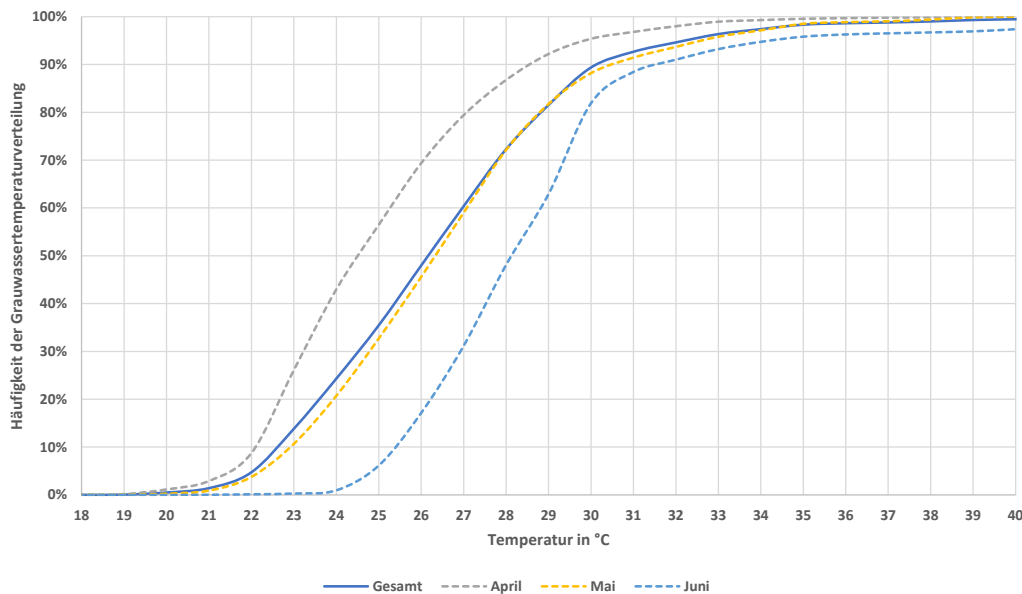


Abbildung 26: Summenhäufigkeit der Grauwassertemperaturen – gemessen im Abwasserrohr.

In den Wintermonaten steht hingegen nicht genügend PV-Strom zum Betrieb der Wärmepumpe zur Verfügung und der Strom müsste vergleichsweise teuer aus dem öffentlichen Netz bezogen werden.

Zudem geht die Analyse von idealen Bedingungen aus, bei denen weder Verluste an der Wärmepumpe, noch im Leitungsnetz, etc. auftreten. Ein sinnvoller Einsatz einer Wärmepumpe ist damit nicht ganzjährig gegeben.

Im Weiteren wird die Auswertung der vorigen Seiten mit neueren Messdaten vom 29.05.2019 – 18.09.2019 verglichen. Der durchschnittliche Betriebswasserbedarf lag in diesem Zeitraum bei ca. 2 m<sup>3</sup>/d, im Vergleichszeitraum dagegen bei ca. 1,8 m<sup>3</sup>. Der Warmwasserverbrauch lag mit ca. 0,75 m<sup>3</sup>/d etwas niedriger, was bei alleiniger Betrachtung der Sommermonate aber auch zu erwarten war.

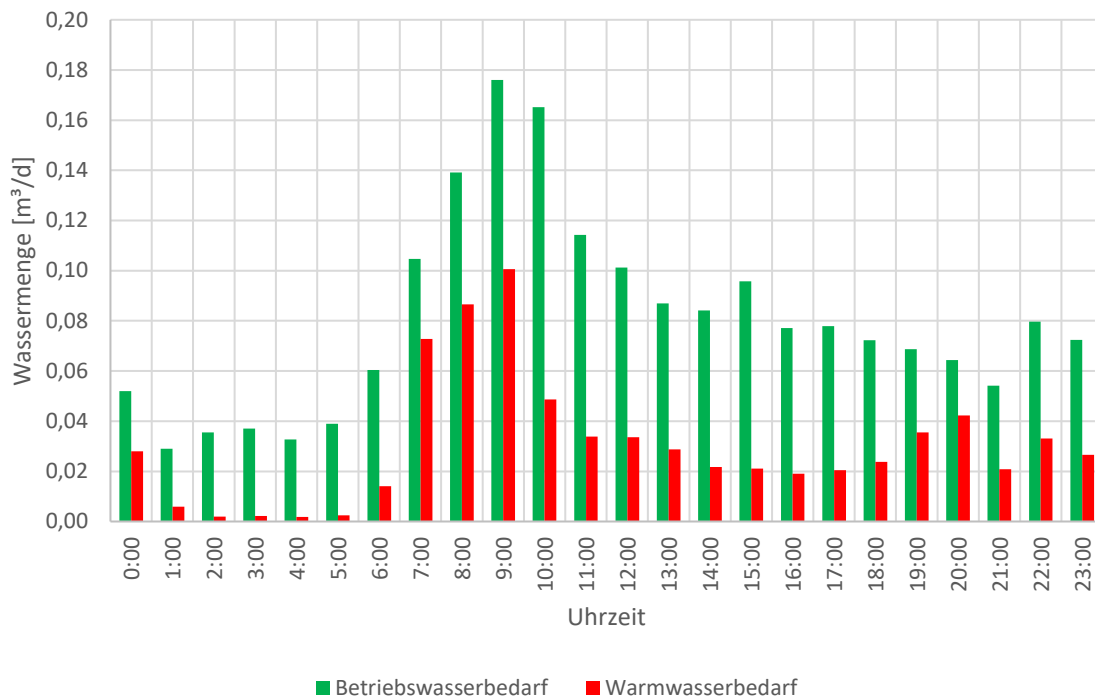


Abbildung 27: Summierter Betriebs- und Warmwasserbedarf nach Tageszeit zwischen 01.07. - 31.08.2019. Tagesdurchschnittsmengen über 62 Tage: Betriebswasser: 1,919 m³; Warmwasser: 0,725 m³.

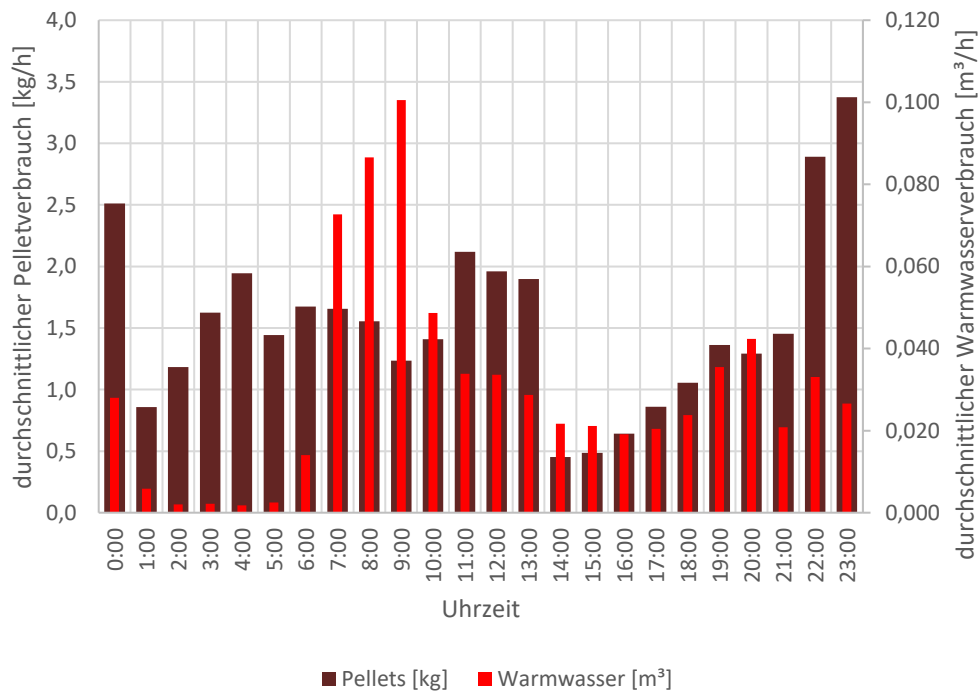


Abbildung 28: Holzpellet- und Warmwasserverbrauch nach Tageszeit zwischen 01.07. – 31.08.2019.

Um die theoretisch nutzbaren Wärmepotenziale im Gebäude tatsächlich nutzbar zu machen und damit für die gesamte Gebäudelebensdauer niedrige Energieverbräuche zu erzielen, ist die Option der Wärmerückgewinnung aus Abwasser so früh wie möglich in die Neubau- oder auch Sanierungsplanung einzubeziehen.

Die technisch nutzbare Wärmemenge ist abhängig von:

- der Abwassermenge, die für die Wärmerückgewinnung zur Verfügung steht,
- der Abwassertemperatur am Übergabepunkt in die Sammelleitung,
- dem Material und Durchmesser der Sammelleitung,
- der Umgebungstemperatur (kalter/warmer Keller oder Außenbereich) sowie
- der Leitungs- und Anlagenisolierung und
- der Entfernung zur Wärmerückgewinnungsanlage (Länge der Sammelleitungen).

## 4. Bauteile zur Wärmerückgewinnung

Die Wärmerückgewinnung besteht aus diversen Komponenten, die gut aufeinander abzustimmen sind. Es würde den Umfang dieser Arbeit sprengen, hier ins Detail zu gehen. Für die auf dem Markt befindlichen Produkte sind eher nur in Ausnahmefällen belastbare Betriebsergebnisse verfügbar – ein Monitoring findet in den seltensten Fällen statt. Ohne Monitoring unterbleibt vielmals auch eine Optimierung im Betrieb und die Wartung auf ein Minimum zu reduzieren. Insofern können hier momentan nur erste Hinweise gegeben werden, die zu beachten wären.

### **Abwasserrohre**

Um die Wärmeverluste des Abwassers gering zu halten, sollte das Abwasserrohr eine möglichst geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen bzw. mit einer zusätzlichen Dämmung versehen werden.

#### **Wärmeleitzahlen für unterschiedliche Abwasserrohre**

SML-Rohr:	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ : 50 – 60 W/mK (bei 20°C) <sup>9</sup>
PP-Rohr:	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ : 0,22 W/mK <sup>10</sup>
Rohrsystem KG 2000:	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ : 0,04 <sup>11</sup>
Tubolit AR Fonowave:	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ : $\leq 0,045$ W/(m · K) <sup>12</sup>



Abbildung 29: Ein schallsoliertes Kunststoffrohr hat geringe Wärmeverluste - hier mit Brandschutzmanschette bei Mauerdurchführungen.

<sup>9</sup>[https://www.dueker.de/fileadmin/download/PR/02\\_Abflusstechnik/VAT\\_Nachhaltigkeitsdatenblatt\\_SML\\_DGNB.pdf](https://www.dueker.de/fileadmin/download/PR/02_Abflusstechnik/VAT_Nachhaltigkeitsdatenblatt_SML_DGNB.pdf)

<sup>10</sup>[https://cdn.hornbach.at/data/shop/D04/001/780/497/950/43/0209756\\_Doc\\_01\\_DE\\_20190225144653.pdf](https://cdn.hornbach.at/data/shop/D04/001/780/497/950/43/0209756_Doc_01_DE_20190225144653.pdf)

<sup>11</sup><https://www.emax-haustechnik.de/installation/abflussrohre/kg-2000-abwasserrohr/>

<sup>12</sup>[https://local.armacell.com/fileadmin/cms/downloads/product-catalogues/de/TubolitARFonowave\\_ProductRange\\_DE.pdf](https://local.armacell.com/fileadmin/cms/downloads/product-catalogues/de/TubolitARFonowave_ProductRange_DE.pdf)

## Duschrinnen

Duschrinnen scheinen eine einfache Option der Wärmerückgewinnung zu sein, die sich nach Angaben der Anbieter in den angrenzenden Nachbarländern bereits deutlich mehr verbreitet haben als in Deutschland. Belastbare Ergebnisse aus dem Praxisbetrieb (Kosten, Nutzen, Wartungsaufwand etc.) standen nicht zur Verfügung.

Wie auch bei anderen Maßnahmen lässt sich jedoch sagen, dass sie vermutlich dort am effizientesten arbeiten, wo sie möglichst häufig genutzt werden und wo weitergehende Maßnahmen wie z. B. das Grauwasserrecycling nicht realisiert oder nur schwer zu realisieren sind.

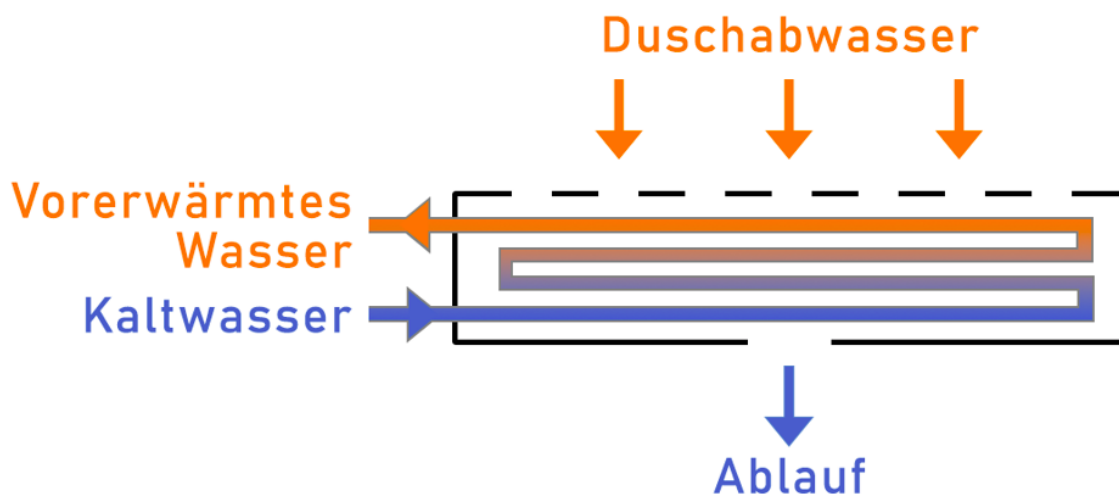


Abbildung 30: Prinzip der Wärmerückgewinnung mittels Duschrinne mit Wärmetauscher - siehe auch <sup>13</sup>

## Erfahrungen mit dem Duschrohr

Im Gegensatz zur Duschrinne mit Wärmetauscher war es möglich, im Dezember 2019 ein Duschrohr mit einer Länge von 2015 mm für eine einzelne Dusche, die über einen eigens dafür vorgesehenen Elektroboiler versorgt wird, in eine Berliner Obdachloseneinrichtung zu installieren und in halbjährlichen Abständen zu kontrollieren und zu warten.

Da der Schmutzwasserkanal vor Ort höher als der Ablauf vom Duschrohr liegt, muss das Duschwasser über die Rückstauenebenen gepumpt werden. Zur Bilanzierung wurde darüber hinaus ein Wärmemengenzähler und ein Stromzähler durch ein Installateurunternehmen (Kosten insgesamt 3.550 €) im Dezember 2019 eingebaut. Die Duschwasserwärme wird direkt in den Elektroboiler-Zulauf zur Vorerwärmung des Kaltwassers eingespeist.

<sup>13</sup> <https://www.wagner-solar.com/de/wrg/waermerueckgewinnung/ecoshower-duschrinne>

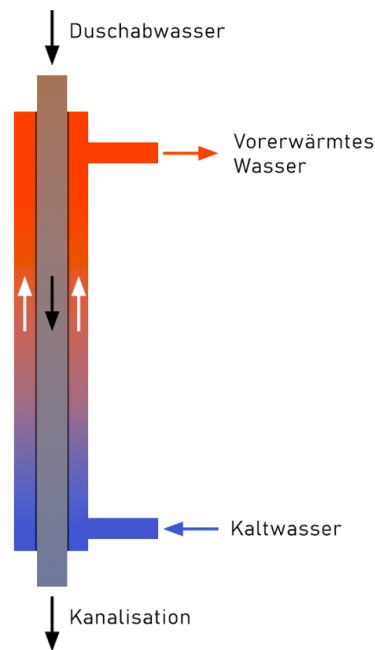


Abbildung 31: Funktion des Duschrohrs.  
siehe auch Abb. 32 und <sup>13</sup>

Die Dusche wird werktags täglich für 2 bis 3 Stunden intensiv von obdachlosen Menschen genutzt. Das installierte Duschrohr erwärmt das Kaltwasser im Mittel um 13 – 14 K (15 – 16 kWh/m<sup>3</sup>).

Der Wartungsaufwand für das Duschrohr selbst ist niedrig – eher aus Forschungsgründen wurde halbjährlich ein Schwamm von oben nach unten durchgezogen, an dem kaum Schmutz hängen blieb. Ein signifikantes Absinken der Wärmeausbeute konnte nach 1,5 Jahren bisher nicht festgestellt werden. Die Hebeanlage hat einen Stromverbrauch von 0,18 kWh je Kubikmeter Grauwasser. Sie sollte 2 – 4 mal jährlich gewartet werden, weil sich im Pumpraum stets Haare ansammeln, die die Pumpfunktion stören könnten.

In 1,5 Jahren wurden 60 m<sup>3</sup>/a Wasser vorerwärmt und dadurch ca. 900 kWh elektrische Leistung (ca. 270 €/a) eingespart.



Abbildung 32: Duschröhr eingebaut mit Wärmemengenzähler, und Hebeanlage für eine Gemeinschaftsdusche in einer Berliner Obdachloseneinrichtung. Bild Mitte: Das Duschröhr - 6 Monate nach der letzten Inspektion.



## Rohrwärmetauscher

Der SML-Rohrwärmetauscher wurde entwickelt, um dem Abwasser die Wärme mittels Wärmepumpe zu entziehen. Die etwa 10 °C kalte Sole aus der Wärmepumpe durchströmt einen schmalen Zwischenraum zwischen SML-Rohr und dessen Ummantelung, erwärmt sich und wird mittels Umwälzpumpe zurück zur Wärmepumpe geführt.

Ein Blick in das innere des Abwasserrohrs zeigt deutliche Ablagerungen an den Rohrwandungen.

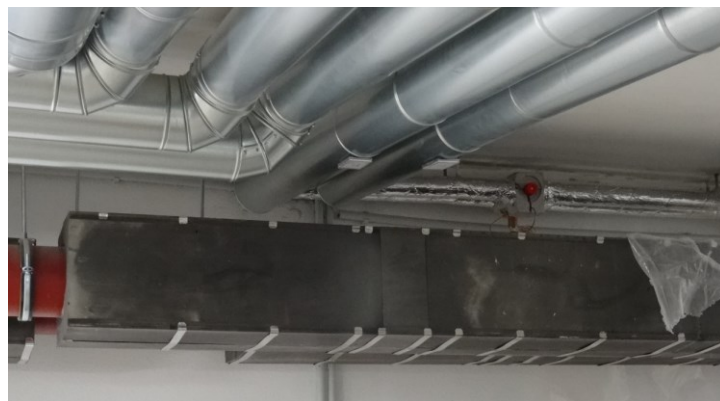
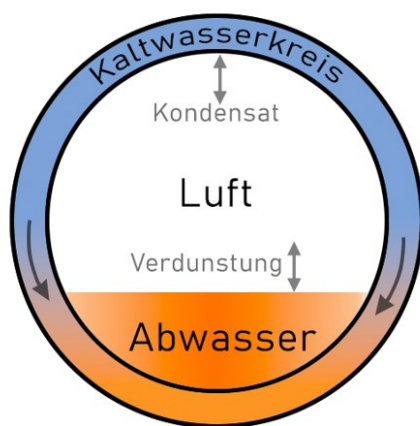


Abbildung 33: Rohrwärmetauscher im Betrieb.

Oben: Querschnitt Abwasserabsorberanlage und Blick in den Rohrwärmetauscher

Unten: Rohrwärmetauscher im eingebauten Zustand,

Infos zum Rohrwärmetauschers siehe auch Firmenangaben <sup>14</sup>

<sup>14</sup> <https://www.pewo.com/fallbeispiele/abwasserwarmenutzung/>

Während das Abwasser bei den SML-Rohrwärmetauschern das Innenrohr in relativ kurzer Kontaktzeit laminar passiert und die Wärme im Gleich- oder Gegenstrom entnommen werden kann, wird der selbstgewickelte Wellrohrwärmetauscher im Einstromverfahren betrieben. Der Wellrohrwärmetauscher befindet sich im Grau- oder Betriebswasserbehälter. Im Betriebswasserbehälter muss der Wärmetauscher – sofern das Grauwasser weitgehend geklärt ist und sich nur unwesentlich von der Trinkwasserqualität unterscheidet – wenn überhaupt, nur selten gereinigt werden.

Sofern der gleiche Wärmetauscher ohne automatische Reinigung im Grauwasserbehälter installiert wird, sinkt die Wärmeübertragung durch Biomassebewuchs deutlich.



Abbildung 34: Selbst gewickelte Wellrohrwärmetauscher neu und im Betrieb.  
Oben links: neu, oben rechts: nach 2-jährigem Betrieb im Betriebswasserspeicher.  
Unten: nach mehreren Monaten im Grauwasserbehälter, links: ohne Reinigung – rechts: mit automatisierter Reinigung.

### **Betrieb der Wärmeüberträger**

Wenn dem Abwasser Wärme entzogen und auf das kalte Trinkwasser übertragen werden soll, ist zwingend darauf zu achten, dass die trinkwasserführende Leitung keinen Kontakt zum Abwasser haben darf.

Zur Wärmerückgewinnung aus Grauwater bzw. aus dem Betriebswasser kann es vorteilhaft sein, die Wärme an unterschiedlichen Stellen abzunehmen und geschichtet in den Wärmepuffer einzuleiten. Je nach den äußeren Randbedingungen, werden sie im Gegen-, Gleich- oder Einstrom betrieben werden.

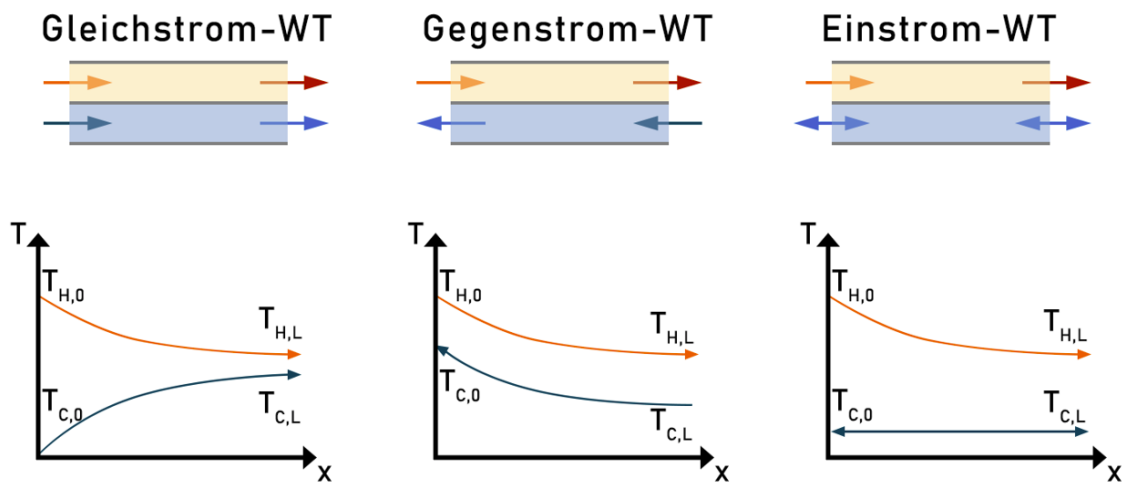


Abbildung 35: Funktionsprinzip der unterschiedlichen Wärmetauscher.

### **Pufferspeicher**

Der eingesetzte innenliegende industriell gefertigte Hygienespeicher (Nennvolumen 600 Liter) beinhaltet einen Edelstahlwärmetauscher, mit dem das Trinkwasser vorerwärmt wird. Dieser hat eine Oberfläche von 8 m<sup>2</sup> und ein Fassungsvermögen von 38 Litern.

Wird in einem Wärmepufferspeicher eine Rohrspirale von unten nach oben eingezogen, spricht man von sogenannten Hygienespeichern. Im übrigen Speicher fließt Heizungswasser; in diesem Fall im geschlossenen Kreislauf mit dem Wärmetauscher im Grauwasser- oder Betriebswasserbehälter. Das vorzuerwärmende Kaltwasser fließt in der Rohrspirale von unten nach oben und wird auf diesem Weg durch das im Speicher befindliche Heizungswasser (im Einstromverfahren) erwärmt.

Das Kaltwasser wird in Hygienespeichern wie in einem Durchlauferhitzer erwärmt. Der Vorteil von Hygienespeichern im Vergleich zu normalen Brauchwasserspeichern ist, dass nur eine kleine Menge Wasser im Durchlauf auf ca. 25 °C vorerwärmt wird. Es wird dann nur die wirklich benötigte Menge vorerwärmt. Die Verweilzeit im Wärmetauscher ist vergleichsweise kurz.

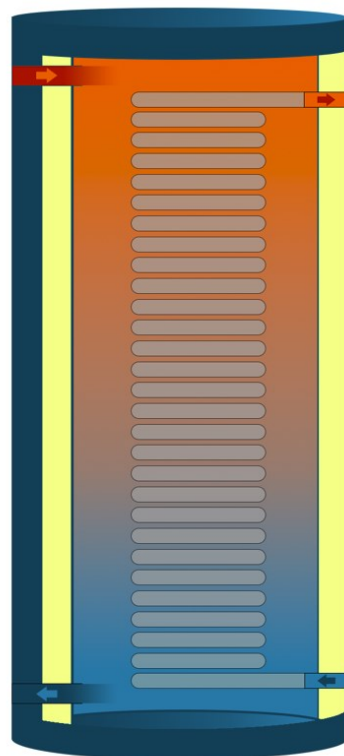


Abbildung 36: Aufbau des Hygienespeichers – und Beispiel eines industriell schlecht gefertigten Speichers mit mangelhafter Isolierung.

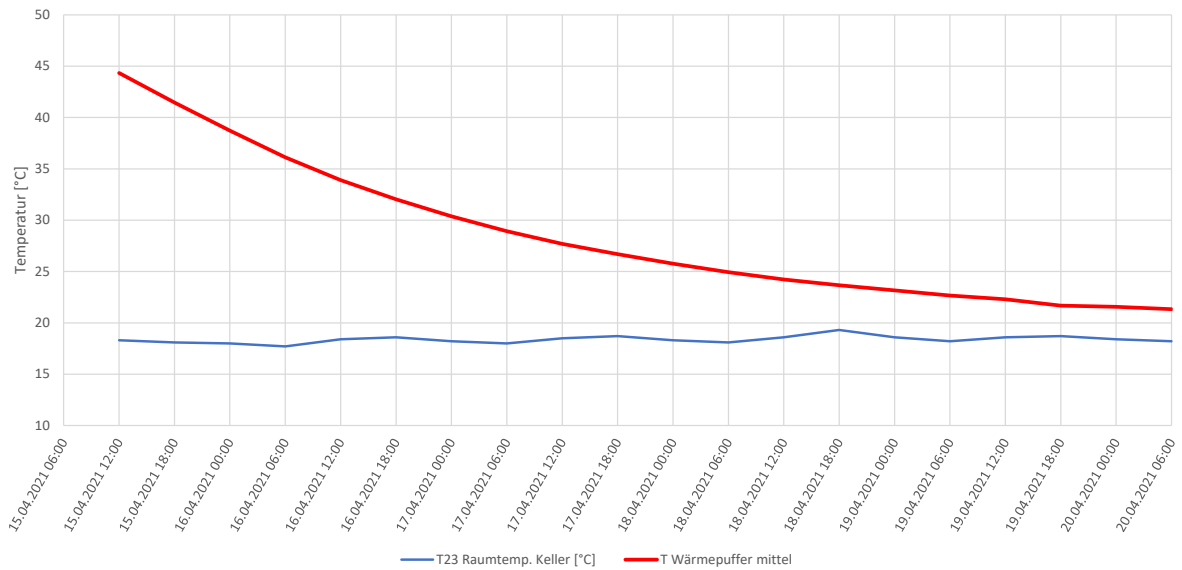


Abbildung 37: Wärmeverluste des eisernen industriell gefertigten Pufferspeichers.

Tabelle 1: Wärmeverluste des Pufferspeichers

Datum Zeit	T23		
	T Wärmepuffer mittel [°C]	Raumtemp. Keller [°C]	Verlustleistung [kWh/h]
15.04.2021 00:00	44,8	18,3	2,74
15.04.2021 06:00	47,7	18,1	3,05
15.04.2021 12:00	44,3	18,3	2,69
15.04.2021 18:00	41,5	18,1	2,41
16.04.2021 00:00	38,7	18	2,14
16.04.2021 06:00	36,1	17,7	1,90
16.04.2021 12:00	33,9	18,4	1,60
16.04.2021 18:00	32,0	18,6	1,39
17.04.2021 00:00	30,4	18,2	1,26
17.04.2021 06:00	28,9	18	1,13
17.04.2021 12:00	27,7	18,5	0,95
17.04.2021 18:00	26,7	18,7	0,83
18.04.2021 00:00	25,8	18,3	0,77
18.04.2021 06:00	24,9	18,1	0,71
18.04.2021 12:00	24,2	18,6	0,58
18.04.2021 18:00	23,7	19,3	0,45
19.04.2021 00:00	23,2	18,6	0,47
19.04.2021 06:00	22,7	18,2	0,46
19.04.2021 12:00	22,3	18,6	0,38
19.04.2021 18:00	21,7	18,7	0,31
20.04.2021 00:00	21,6	18,4	0,33
20.04.2021 06:00	21,3	18,2	0,32



## Wärmeübertragung auf das Kaltwasser

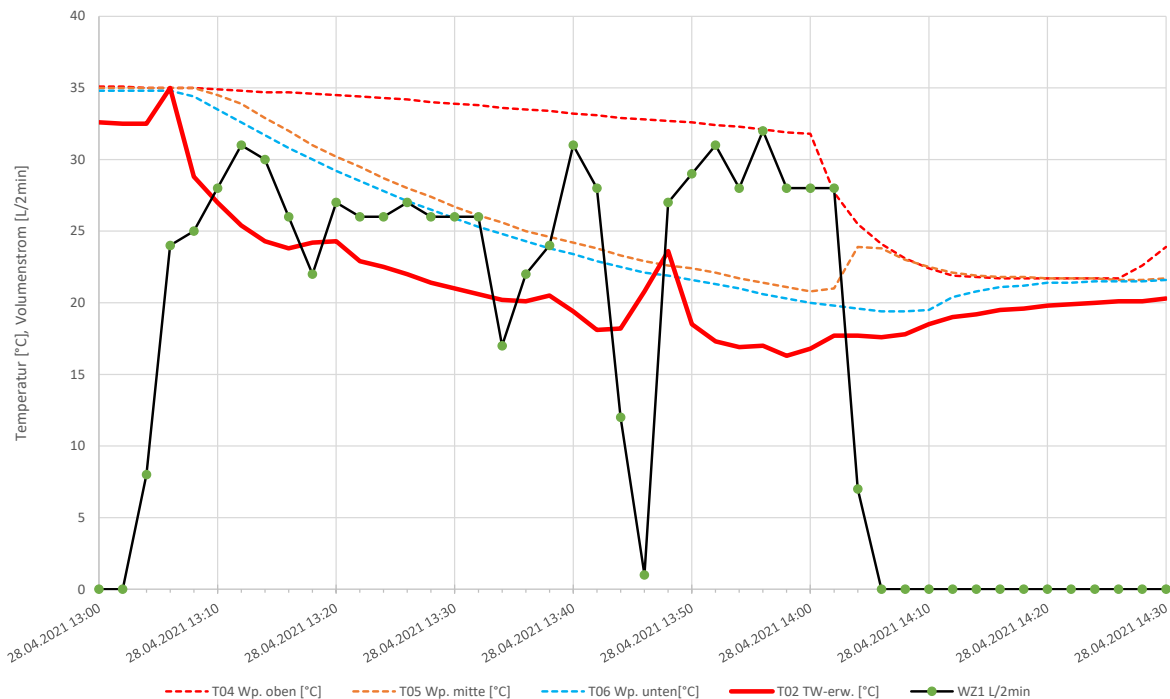


Abbildung 38: Wärmeübertragung auf das 11,5 °C warme Kaltwasser bei unterschiedlichen Warmwasserzapfmengen gemessen am konventionellen Hygienespeicher, der zu Beginn der Aufzeichnung über die Wärmepumpe voll durchmischt auf 35 °C erwärmt wurde.

Konventionelle Wärmepufferspeicher für die Warmwasserbereitung (z. B. Solarspeicher) sind nur bedingt für die Wärmerückgewinnung aus Grauwasser geeignet. Weil die Temperaturdifferenzen zum kalten Trinkwasser bei der Wärmerückgewinnung nur gering sind, muß der Wärmetauscher deutlich großflächiger ausgelegt werden als beim Einsatz an Solarkollektor-Anlagen.

## ***Einfluss der Temperatur auf die Vermehrung von Legionellen***

Regelmäßig wird gefragt, ob die Wärmerückgewinnung einen negativen Einfluss auf das Legionellenwachstum hat, was bei einer Vorerwärmung auf bis zu 25°C verneint werden kann.

Der Prozess der Vermehrung von Legionellen im Trinkwasser ist komplex. Als gesichert gilt, dass sich die Einzeller in Abhängigkeit von der Wassertemperatur reproduzieren. Das DVGW-Projekt „Legionellen im Kaltwasser“, welches im Folgenden wiedergegeben wird, liefert neue Erkenntnisse.

Die Forschungsergebnisse zeigen nämlich, dass bei einem Betrieb der Kaltwasserinstallation gemäß dem aktuellen DVGW-Regelwerk, keine gesundheitliche Gefährdung durch übermäßiges Legionellenwachstum besteht. Die durchgeführten Versuche ergaben, dass die Legionellenkonzentration in einem System maßgeblich durch die folgenden Faktoren bestimmt wird:

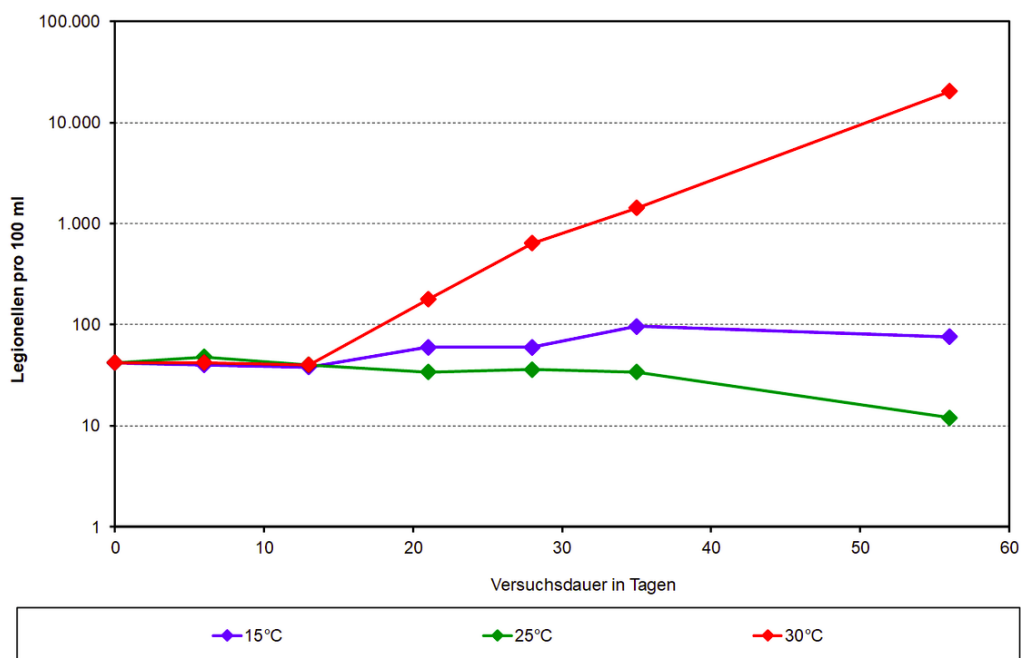


Abbildung 39: Einfluss der Temperatur auf die Vermehrung von Legionellen © TZW Dresden - DVGW<sup>15</sup>

### **Temperatur**

Eine Vermehrung von Legionellen beginnt bei 25 °C und nimmt mit steigender Temperatur zu. Eine geringe Zunahme der Bakterienkolonien war bei 27 °C und eine deutliche bei 30 °C zu verzeichnen. Entsprechend der Literaturangaben liegt die optimale Wachstumstemperatur bei 37°C. Kurzfristige Temperaturerhöhungen auf über 25°C führen nicht unmittelbar zu hohen Legionellenbefunden. Das für das System spezifische Niveau an Legionellen stellt sich sukzessive ein, sofern anschließend durchgehend höhere Temperaturen vorliegen.

<sup>15</sup><https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-legionellen-kaltwasser>

### **Amöben und Biofilmbeschaffenheit**

Eine Vermehrung von Legionellen findet im Trinkwassersystem ausschließlich in Amöben statt. Treten Legionellen auf, so sind auch die spezifischen Amöben im System vorhanden. Diese ernähren sich vom im Wasser vorhandenen Biofilm, den sie abgrasen und aufnehmen. Dementsprechend bestimmt die Beschaffenheit des Biofilms die Vermehrungsgeschwindigkeit der Amöben und – bei Temperaturen über 25 °C – auch die der Legionellen.

### **Rohrmaterial und -dimension**

Bei den Untersuchungen des DVGW mit den Modell-Installationen zeigte sich bei allen untersuchten Betriebsvarianten für den Gummischlauch eine höhere Vermehrungsgeschwindigkeit und höhere Konzentration der Legionellen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass das Material im Vergleich zu Edelstahlrohren eine stärkere Biofilmbildung aufwies. Ebenso hatte die Rohrdimension einen Einfluss auf das Wachstum von Legionellen, denn mit abnehmendem Durchmesser steigt das Verhältnis von der Oberfläche zum Volumen und somit der Effekt der Oberflächenprozesse auf den Wasserkörper.

Bei Wassertemperaturen von  $\leq 25$  °C ist die Stagnationsdauer in Bezug auf Legionellen nicht relevant, da eine Vermehrung von Legionellen nicht stattfindet. Bei Wassertemperaturen von  $> 25$  °C ist die Geschwindigkeit der Vermehrung von Legionellen und das Ausmaß der Vermehrung zusätzlich von den Systembedingungen (z. B. dem Rohr- oder Schlauchmaterial) abhängig.

Soll für ein System ein spezifischer Wert nicht überschritten werden, ist für die Definition eines Betriebsregimes ein spezifisches Untersuchungsprogramm erforderlich. Es sind nur für den Trinkwasserbereich geeignete Materialien einzusetzen, die die Vermehrung von Mikroorganismen nicht durch Nährstoffabgabe fördern. Dadurch wird eine Biofilmbildung, und damit die Legionellenvermehrung, begrenzt. Die Materialien müssen zudem eine Prüfung nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 270 bzw. der DIN EN 16421 erfolgreich bestanden haben.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> DVGW-Forschungsvorhaben untersucht Vermehrung von Legionellen im Kaltwasser energie | wasser-praxis 5/2020. Download unter <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-legionellen-kaltwasser>



## Wärmepumpe

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen den COP der Wärmepumpe (PEWO) bei Quelltemperaturen von konstant 35 °C und 15 °C, wobei die Wärmepumpe seitens der Quelle mit einem Durchfluss von 16 l/min und senkenseitig mit 6 l/min durchflossen wurde. In beiden Fällen wurden 50 Liter Kaltwasser (15 °C) mittels Wärmepumpe im Kreislaufbetrieb bis auf ca. 60 °C erwärmt.

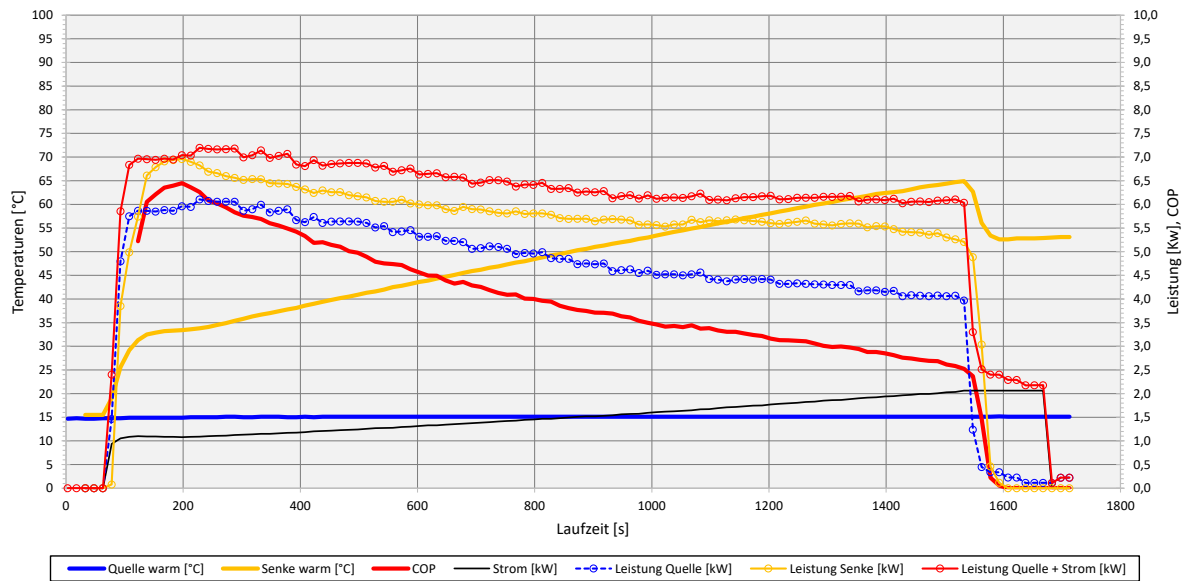


Abbildung 40: Kennlinie der Wärmepumpe bei einer konstanten Quelltemperatur von 15 °C

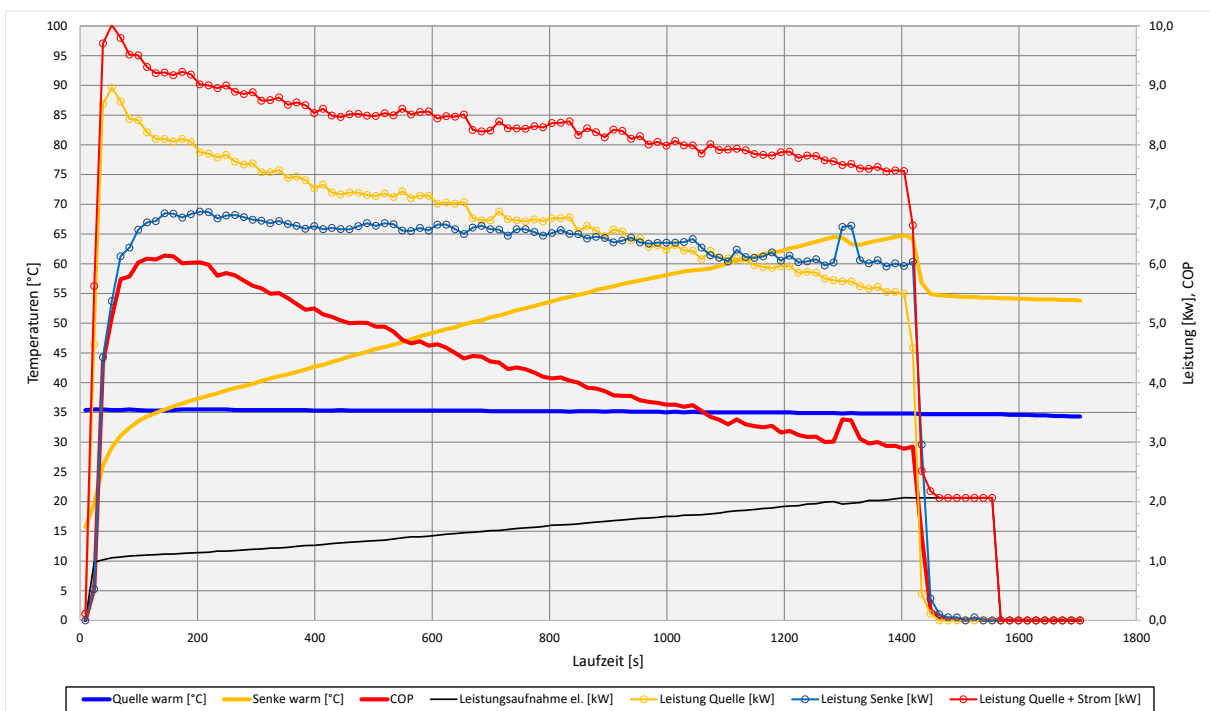
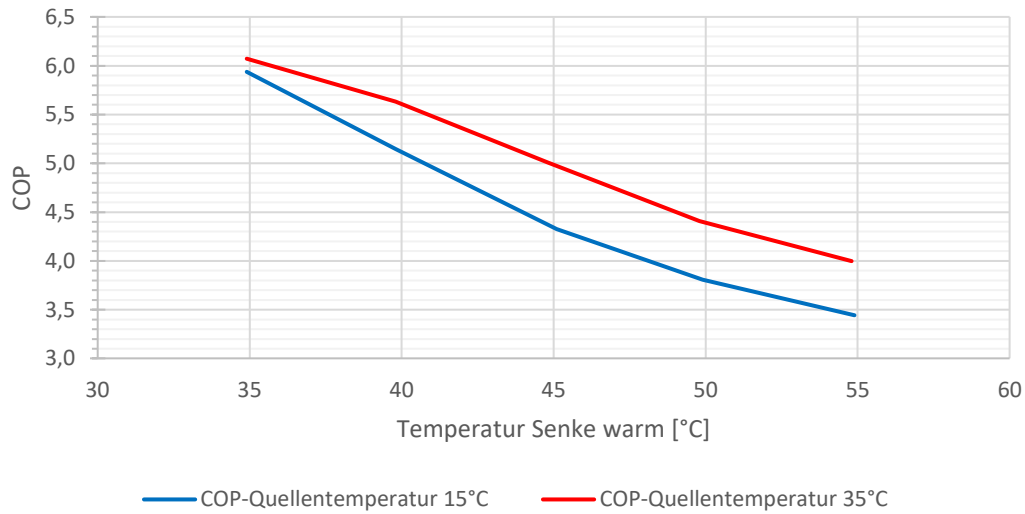


Abbildung 41: Kennlinie der Wärmepumpe bei einer konstanten Quelltemperatur von 35 °C.



Eine höhere Quelltemperatur ist generell vorteilhaft. Der Wirkungsgrad der Wärmepumpe – berechnet als COP – ist aber in erster Linie deutlich stärker von der Senktemperatur abhängig.

### Wärmerückgewinnung ohne bzw. mit Wärmepumpe

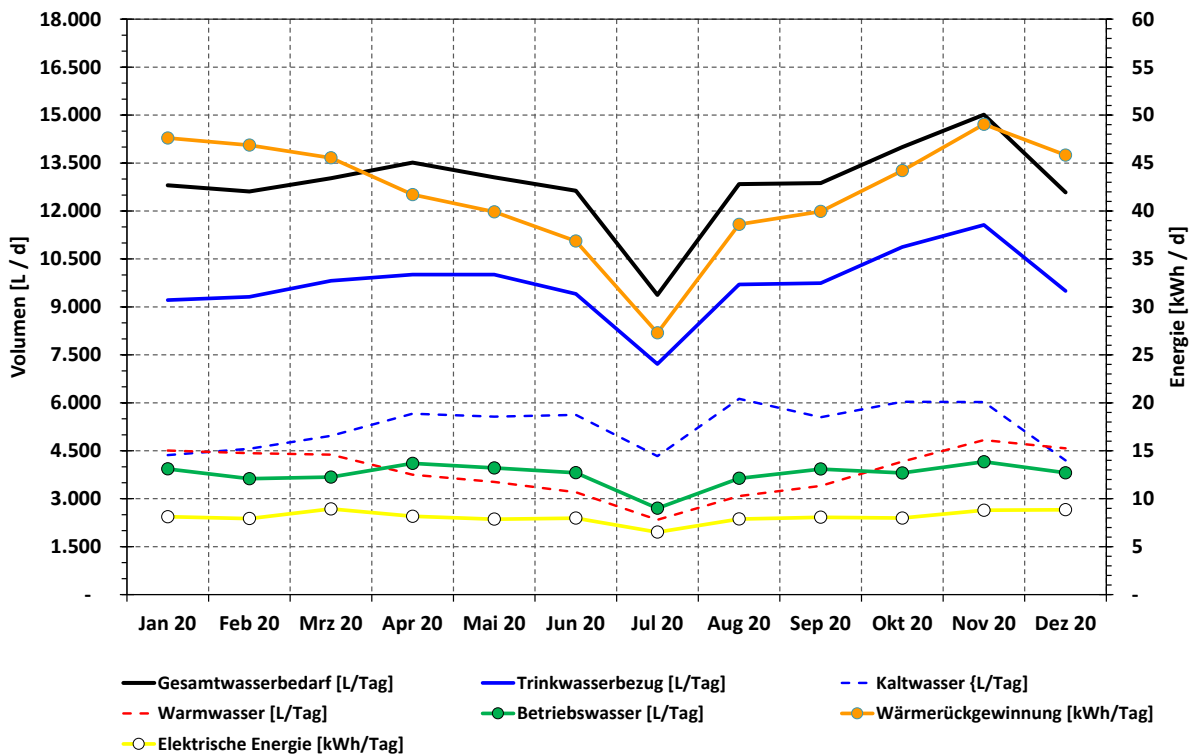


Abbildung 42: Betriebsergebnisse der Grauwasserrecyclinganlage mit integrierter Wärmerückgewinnung (ohne Wärmepumpe) am Annimplatz.

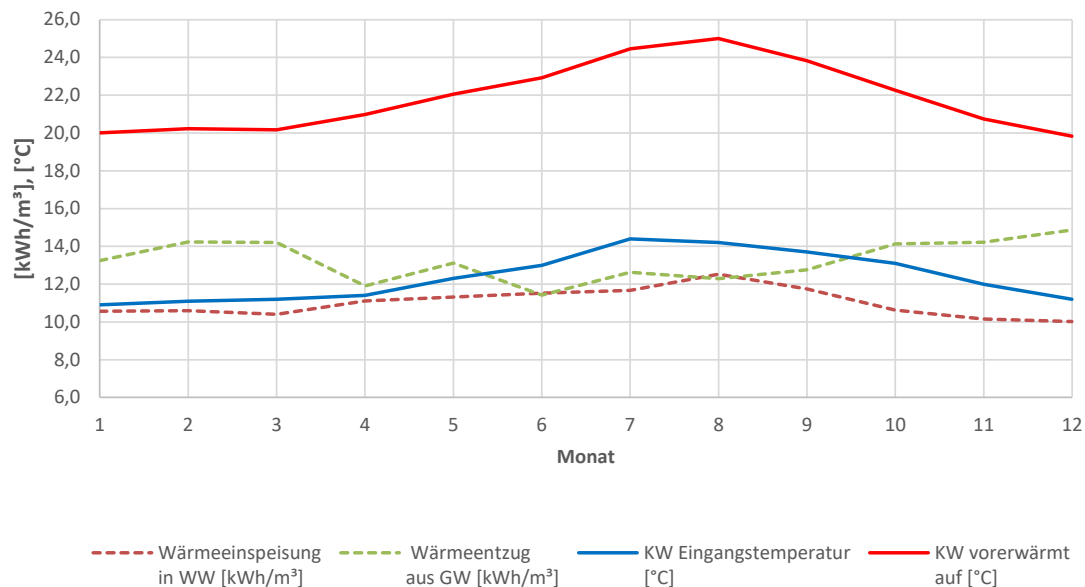


Abbildung 43: Jahresverlauf über den Wärmeentzug aus Grauwasser sowie der Wärmeeinspeisung in die Warmwasserbereitung.

In den kalten Monaten ist das Trinkwasser kälter als im Sommer. Somit wird mehr Warmwasser benötigt, wobei gleichzeitig nicht entsprechend mehr Grauwasser anfällt. Dies hat zur Folge, dass in den kalten Monaten der Wärmeentzug aus dem Grauwasser am größten ist, die Wärmeeinspeisung und damit die Temperaturanhebung des Kaltwassers aber unter den sommerlichen Temperaturen bleibt.

Um 11–15 kWh Wärme aus einem Kubikmeter Grauwasser zu ernten, muss diese Wärmemenge über vorzugsweise zwei Zirkulationspumpen und einen Wärmeträger über einen in sich geschlossenen Wasserkreislauf in den Wärmepufferspeicher übertragen werden. Im Zusammenspiel mit einer Grauwasserrecyclinganlage beträgt der dafür zusätzlich erforderliche Energiebedarf für Zirkulationspumpen bei einer optimal ausgelegten Anlage weniger als 0,2 kWh je Kubikmeter Grauwasser. Daraus errechnet sich ein COP (Coefficient of Performance) von deutlich > 50.

Die zu erntende Wärmemenge ist in jedem Fall durch die Menge und Temperatur des Grauwassers limitiert. Bei der Wärmerückgewinnung ohne Wärmepumpe kann das Kaltwasser i.d.R. nicht höher als auf 25 °C vorerwärmt werden. Bedient man sich einer Wärmepumpe, lässt sich das Betriebswasser deutlich weiter abkühlen, sodass hier höhere Wärmeerträge möglich sind. Allerdings erscheint es nicht sinnvoll, dieses auf das minimal mögliche Temperaturniveau durchzuführen. In der folgenden Betrachtung wird das Betriebswasser nicht unter 10 °C abgekühlt. Vorerst noch vereinfachend, bleiben auch die Zirkulationsverluste unberücksichtigt und es werden acht unterschiedliche Varianten rein rechnerisch betrachtet.

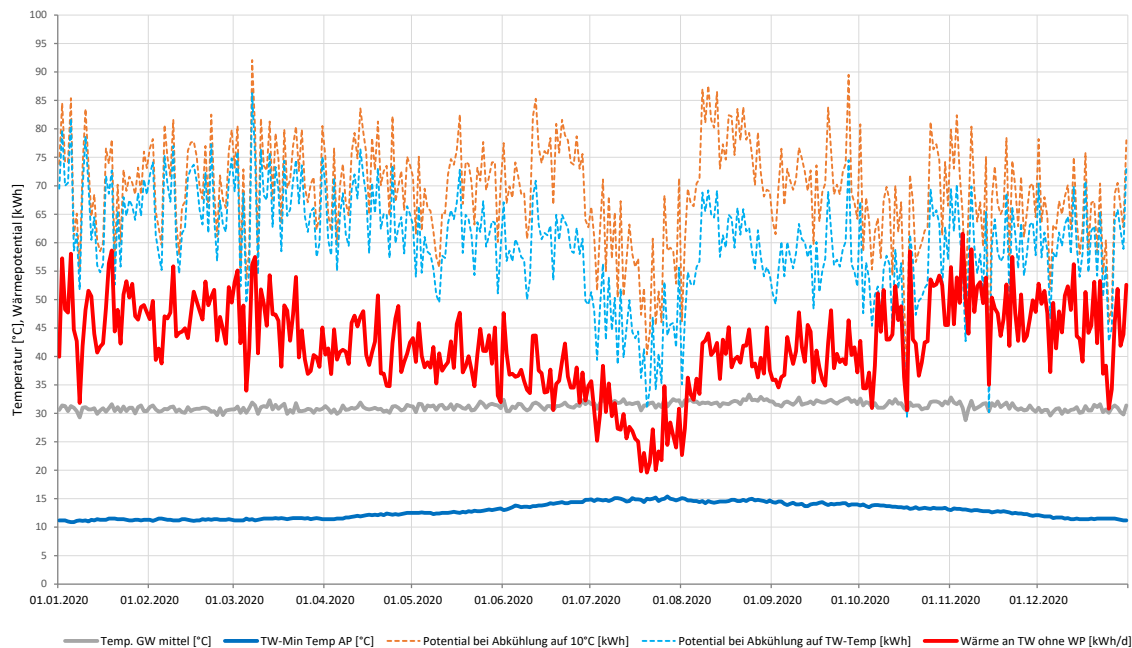


Abbildung 44: Wärmepotenziale am Beispiel des Standorts Arnimplatz unter Verwendung einer Wärmepumpe bei Abkühlung des Grauwassers auf 10°C bzw. auf die tagesaktuelle Trinkwassertemperatur im Vergleich zur tatsächlich erzielten Wärmeenergie ohne Wärmepumpe.

Für die Warmwasserbereitung (ohne Zirkulationsverluste) ist für den Standort am Arnimplatz ein jährlicher Wärmebedarf von ca. 74 MWh zu veranschlagen. Ohne Wärmepumpe und Vorerwärmung des kalten Trinkwassers auf max 25°C beträgt der Jahreswärmeertrag 15,3 MWh, wofür 205 kWh Strom erforderlich sind.

Bei einer Abkühlung des Betriebswassers auf 10 °C würde der Jahreswärmeentzug aus dem Grauwasser 25,2 MWh betragen, wobei für die Wärmepumpe (COP = 6) ca. 5.000 kWh Strom für einen doppelt so hohen Gesamtwärmeertrag von 30 MWh benötigt werden würde.

Die Betrachtung zeigt, dass sich das Grauwasserrecycling mit integrierter Wärmerückgewinnung zukünftig nicht allein auf das Dusch- und Badewasser beschränken sollte. Der Einbezug weiterer Grauwasserquellen erfordert zwar eine etwas umfangreichere Wasserbehandlung, bringt aber wesentlich höhere Energie- und Wassererträge.

Das Grauwasserrecycling auch unter Einbezug der hoch belasteten Küchenabwässer praktikabel ist, wird seit 2006 in dem Berliner „Block 6“-Projekt unter Beweis gestellt. Da sich die Wassertemperatur im Laufe der Aufbereitung nicht wesentlich ändert (siehe Abbildung 3, kann die Wärmerückgewinnung im Betriebswasser am Ende der Grauwasserbehandlung erfolgen.

## ***Wärmerückgewinnung aus Grauwasser in Kombination mit einem BHKW, Fernwärme oder einer PV-Anlage***

Die Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser sollte – zumindest in ihrer einfachen Form ohne Wärmepumpe – zur Verpflichtung werden, denn mit dieser Abwärme die Umwelt zusätzlich zu belasten ist grundsätzlich der falsche Weg. Die einfache Form der Wärmerückgewinnung zeichnet sich durch einen hohen Wirkungsgrad aus und senkt zudem die Energiekosten.

Es stellt sich aber die Frage, welche Effekte die erweiterte Form der Wärmerückgewinnung aus Abwasser mit einer Wärmepumpe mit sich bringen. Der wirtschaftliche Betrieb von BHKW's wird maßgeblich davon geprägt, wie gut Strom- und Wärmebedarfe zeitlich zusammenfallen und beides möglichst umfanglich ihre Abnehmer findet.

Da der jährliche Haushaltsstrombedarf mit angenommenen 3.500 kWh für einen 2-Personenhaushalt deutlich über dem Wärmebedarf in Höhe von ca. 1.200 bis 1.600 kWh für die Warmwasserbereitung, sowie dem etwa gleichem Raumwärmebedarf mit ebenfalls ca. 1.600 kWh/2-Personenhaushalt liegt und Raumwärme lediglich in der kalten Jahreshälfte abgefordert wird, erscheint die Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser im Zusammenspiel mit einem BHKW eher wenig interessant zu sein. Erschwerend kommt für die Wärmerückgewinnung nämlich hinzu, dass ein BHKW etwa doppelt so viel Wärme wie Strom produziert.

Was für das BHKW angeführt wurde, trifft in ähnlicher bzw. sogar in verschärfter Form auch für die Fernwärme zu, die im Zusammenhang mit der Stromerzeugung in ein Fernwärmenetz eingespeist wird. Fernwärme wird bundesweit mit z. T. schwer nachvollziehbar niedrigen Primärenergiefaktoren unter 0,5 angeboten und ist deshalb eine bevorzugt genutzte und zum jetzigen Zeitpunkt sicherlich auch sinnvolle Möglichkeit der Abwärmenutzung aus der fossilen Stromerzeugung. Sobald aber der Anteil der Stromerzeugung durch Wind und Sonne steigt und immer mehr fossil betriebene Kraftwerke außer Betrieb gehen, könnten die Vorteile einer Fernwärmeversorgung schwinden und die Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser entsprechend begünstigen.

Die besten Voraussetzungen für eine Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser liegen dort vor, wo eine Eigenstromversorgung aus Sonne oder Wind erfolgt.

## Wärmerückgewinnung aus Abwasser im Gebäudebestand

In welchen Gebäuden eine ergänzende Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser für die Warmwasserbereitung zielführend ist, muss im Einzelfall entschieden werden. Dazu ist es hilfreich, sich vorher den Status Quo genauer anzusehen.

Im Folgenden wurde beispielhaft ein KfW 40 Mehrfamilienhaus (Baujahr 2006) mit 1.850 m<sup>2</sup> Wohnfläche in Berlin betrachtet. Das Mehrfamilienhaus wird von 41 Personen in 15 Wohneinheiten (Vorderhaus 9 WE, Gartenhaus 6 WE) bewohnt und beheimatet zusätzlich eine Gewerbeinheit. Es ist mit einer 90 kW Holzpellettheizung und 43 m<sup>2</sup> Flachkollektoren in Südausrichtung ausgestattet. Die Raumwärme wird für jede Wohneinheit mittels elektronischem Wärmemengenzähler erfasst. Weitere Messeinrichtungen, die zwischen der insgesamt abgegebenen Warmwasser- und Raumwärmemenge differenzieren oder Einrichtungen, über die der Wirkungsgrad der einzelnen Komponenten bestimmt und ggf. bestehende Schwachstellen des Systems ausfindig gemacht werden können, sind nicht vorhanden.

Tabelle 2 zeigt die jährlich eingekaufte Holzpelletmenge, die darin enthaltene Energie (4,8 kWh/kg) sowie die in den 16 Wohneinheiten erfassten Wärmemengenlieferungen. Unter den vereinfachten Annahmen, dass die 43 m<sup>2</sup> große thermische Solaranlage einen Ertrag von 19.350 kWh/a liefert und dass der jährliche Warmwasserverbrauch nachweislich 400 m<sup>3</sup> nicht übersteigt und damit max. 23.000 kWh Wärme benötigt, um 10°C kaltes Trinkwasser durchgehend auf 60°C zu erhitzen, wurde der Energiebedarf für Raumwärme inkl. WW-Bereitung überschlägig bestimmt und die Systemverluste (aus dem Heizkessel, Abgas, Wärmepufferspeicher, Verteil- und Zirkulationsverluste etc.) summiert.

Tabelle 2: Energiebilanz für ein KfW-40 Gebäude mit Holzpellettheizung und Solarthermie.

Jahr	Holzpellets	eingekaufte Wärmemenge	Wärmemenge		Summe der Verluste
			Raumwärme	Raumwärme + WW-Bereitung (ohne Verluste)	
			[kWh/a]	[kWh/a]	
2017	27,22	130.656	48.800	72.000	78.006
2018	24,80	119.040	52.555	75.755	62.635
2019	21,91	105.168	47.526	70.726	53.792
2020	34,02	163.296	51.661	74.861	107.785

Für die folgende Untersuchung wurde jeweils eine zeitgenaue Wärmemengenmessung in die zwei vorhandenen Warmwasserzirkulationsleitungen und eine weitere für die Solarerträge und eine Erfassung der Holzpelletverbräuche installiert.

Die beiden folgenden Grafiken zeigen das unzureichend abgestimmte Zusammenspiel zwischen Solarthermie und Pellettheizung bei der Warmwasserbereitung – hier beispielhaft dargestellt für 4 Sommertage (Donnerstag den 08.08. bis Sonntag den 11.08.2019 siehe Abbildung 45 und Abbildung 46).

Wochentags ab ca. 6:00 Uhr wird das Warmwasser gezapft. Die Warmwassertemperatur ist bereits durch Zirkulationsverluste auf etwa 45°C gesunken, was zur Folge hat, dass der Pelletkessel gegen 7:00 Uhr anspringt, um das Warmwasser bis 9:00 Uhr entsprechend aufzuheizen. Ab 10:00 Uhr scheint die Sonne auf die Solaranlage, die Wärme einspeichern kann. Zu diesem Zeitpunkt ist der Puffer aber bereits weitgehend durch die Pelletheizung aufgeladen. Das weitere Aufheizen auf zeitweise 80°C kann zu gefährlichen Verbrühungen führen. Durch Wasserzapfungen und Zirkulationsverluste, die u.a. das Kaltwasser im Installationsschacht zeitweise auf über 28°C erwärmen, schwankt die Warmwassertemperatur am Speicherausgang im Tagesverlauf zwischen ca. 60 und 80°C. Sobald die Solaranlage keine weiteren Erträge mehr bringt, kühlt das Wasser schnell auf bis zu 40°C ab.

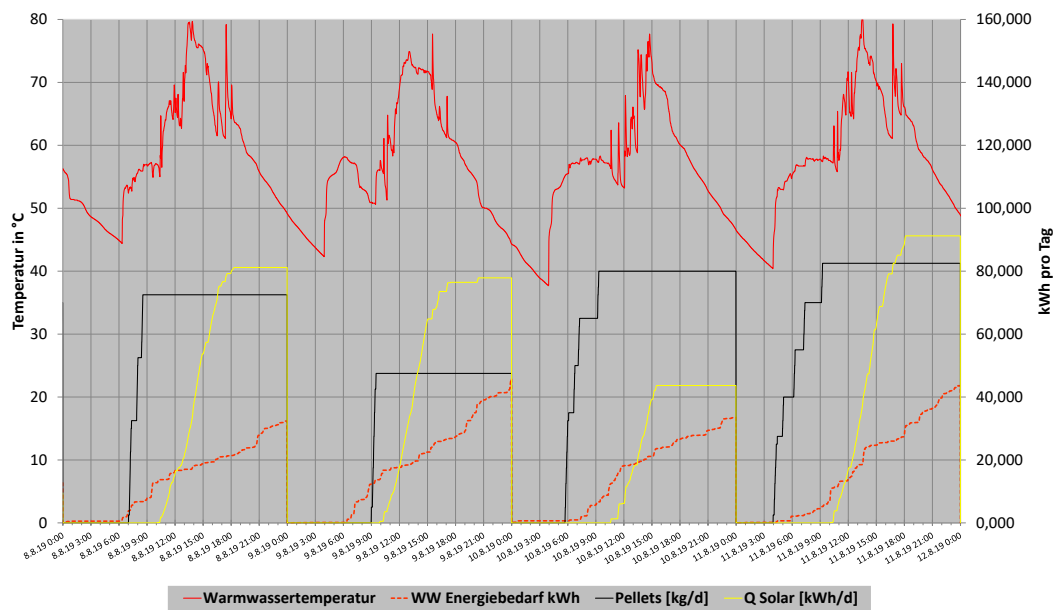


Abbildung 45: Tagesverläufe zum Energiebedarf der Warmwasserbereitung und den Warmwassertemperaturen.

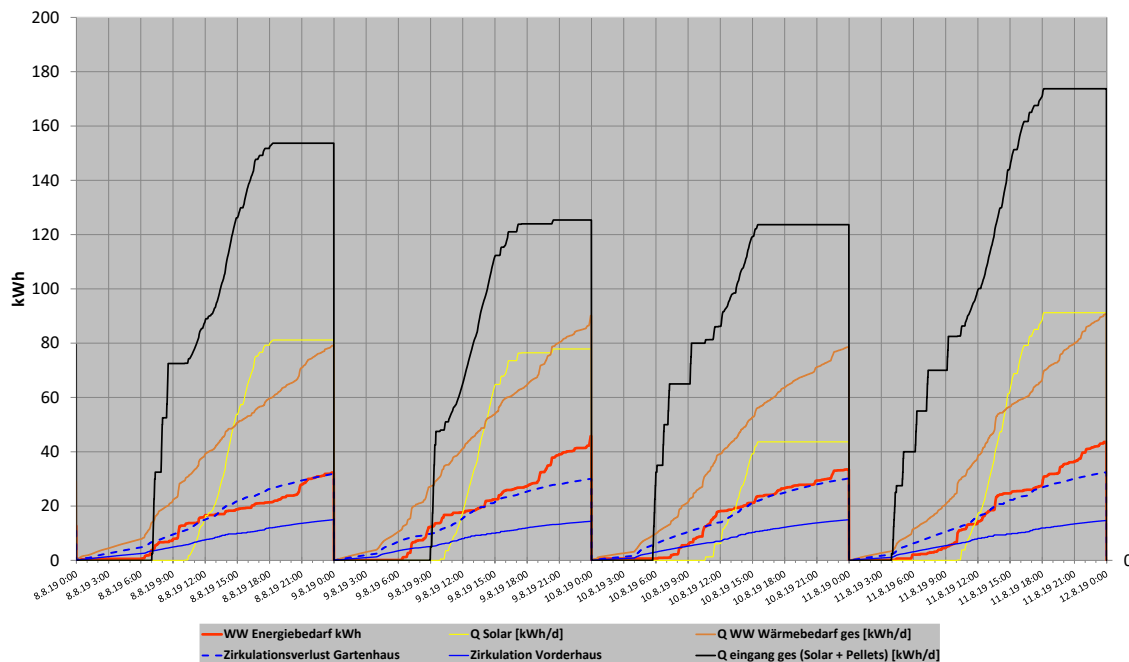


Abbildung 46: Tagesverläufe zum Energiebedarf der Warmwasserbereitung und den Zirkulationsverlusten von Gartenhaus und Vorderhaus.

Abbildung 45 zeigt, dass im Betrachtungszeitraum durch die Solarthermie (gelb) stets deutlich mehr Energie eingelagert wurde, als rechnerisch für die Warmwasserbereitung (rot) benötigt wird. Die Zirkulationsverluste zum Gartenhaus (blau gestrichelt) sind deutlich höher, als zum Vorderhaus (blau) – sie sind gemeinsam selbst in den Sommermonaten deutlich höher, als die Energie, die für die Warmwasserbereitung (braun) benötigt wird. Die schwarze Linie schließt die weiteren Wärmeverluste durch den Pufferspeicher und den Pelletkessel sowie die Abgasverluste mit ein.

Zusammenfassend kommt man zu dem Ergebnis, dass die sommerliche Warmwasserbereitung zeitweise mit einem Wirkungsgrad von nur 20 % betrieben wird. Einer Wärmerückgewinnung aus dem gesamten häuslichen Abwasser oder auch nur aus Grauwasser sollte in diesem Fall ganz sicher nicht die erste Priorität eingeräumt werden.

Den Eigentümern wird empfohlen, sich vorerst um eine Reduzierung der WW-Zirkulationsverluste zu kümmern und ggf. einen deutlich größeren Wärmepuffer für die Solarthermie zu installieren. Da keine Eigenstromerzeugung verfügbar ist, sollte die Wärmerückgewinnungsvariante ohne Wärmepumpe bevorzugt verfolgt werden.



## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) sind heute Stand der Technik. Bevor verbrauchte Luft im Wohnbereich durch Frischluft von außen ersetzt wird, wird die in der Abluft enthaltene Wärme in einem Wärmetauscher gespeichert und auf die Zuluft übertragen. Dabei lassen sich 50 – 80% der Wärme zurückholen<sup>17</sup>.

Obgleich in modernen Gebäuden vielfach mehr Energie für die Warmwasserbereitung benötigt wird als für die Raumluft erwärmung, ist die dezentrale Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser hingegen noch eine bisher absolut vernachlässigte Maßnahme der Energieeinsparung. Hier ließen sich prinzipiell ähnlich hohe Wärmerückgewinnungsraten erzielen wie bei der Raumluft.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass für eine wartungsarme und effektive Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser die Trennung zwischen dem warmen und zugleich gering belastetem Grauwasser und dem kalten mit Feststoffen belastetem Schwarzwasser zielführend ist.

Die konventionelle Wasserver- und Abwasserentsorgung sieht bisher keine Trennung vor und gehört zu den größten kommunalen Stromverbrauchern. Durch höhere Qualitätsanforderungen an die Wasserwirtschaft ist die Tendenz sogar steigend. Allein die Berliner Wasserbetriebe benötigen jährlich mehr als 300 GWh Strom<sup>18</sup> – das ist mehr als eine Stadt mit 300.000 Einwohnern an Haushaltsstrom benötigt.

Die getrennte Erfassung von Grau- und Schwarzwasser hat einen weiteren Vorteil. Wenn nämlich das Grauwasser in Kombination mit der Wärmerückgewinnung zu einem hochwertigen Betriebswasser recycelt wird, erhält man ein System, welches bis zu 10-mal mehr Energie aus dem Abwasser gewinnt, als für die gesamte Behandlung und Verteilung erforderlich wäre, während dadurch zugleich der Trinkwasserbezug um ca. 30 bis über 50% reduziert werden kann. Beide Maßnahmen können dazu beitragen, die Auswirkungen des Klimawandels zu mildern.

Die dezentrale Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser sollte verpflichtend und insbesondere im mehrgeschossigen Wohnungsbau sowie in Hotels und Sportstätten etc. mit dem Grauwasserrecycling kombiniert werden. Dort wo das Wasserrecycling nicht umgesetzt werden kann, sollte geprüft werden, ob sogenannte Duschrinnen mit integriertem Wärmetauscher bzw. Duschrohren zum Einsatz kommen können.

Unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten ist die Kombination von Grauwasserrecycling und Wärmerückgewinnung durch wohl kaum eine andere Maßnahme, insbesondere nicht durch groß angelegte zentrale Projekte zu übertreffen, zumal sie im

---

<sup>17</sup> <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/lueftung/waermerueckgewinnung-in-lueftungsanlagen-2468659>

<sup>18</sup> [https://www.bwb.de/de/assets/downloads/2018-11\\_nachhaltigkeitsbericht-bwb.pdf](https://www.bwb.de/de/assets/downloads/2018-11_nachhaltigkeitsbericht-bwb.pdf)

Gegensatz zu manch anderen Umweltmaßnahmen i.d.R. auch mit einer Reduzierung der Betriebskosten einhergeht.

Unabhängig davon, ob es sich um ein Neubauvorhaben oder eine Sanierung handelt – Voraussetzung ist stets, dass die grundlegenden wasserrelevanten Planungen (Auswahl der Grauwasserquellen, Betriebswasserabnehmer, Technikraum für die Grauwasserbehandlung etc.), ebenso wie die energierelevanten Aspekte, so früh wie möglich in die Konzeptionierung einbezogen werden.

Bei einer Sanierung/Ergänzung kommt, wie bei anderen Maßnahmen auch, erschwerend hinzu, dass sich eine weitere Maßnahme stimmig in das Gesamtkonzept einfügen muss. Das Beispiel KfW 40 – Mehrfamilienhaus zeigt, dass i.d.R. leider kaum belastbare Betriebsdaten zu den vorhandenen Baugruppen vorliegen und auch keine Anlagenüberwachung erfolgt. Die Wärmerückgewinnung aus Abwasser ist definitiv kein Mittel, diesen Mangel auszugleichen. Im Falle einer nicht optimal arbeitenden, ausgerichteten oder schlecht gewarteten Solaranlage, kann sie weder die Energieverluste von unzureichend isolierten Warmwasserleitungen noch die z. T. massiven Abwärmeverluste eines Heizkessels kompensieren.

Bei Wasserpreisen von 5,00 €/m<sup>3</sup> und Wärmepreisen von 80 €/MWh ist der finanzielle Nutzen des Grauwasserrecyclings gegenüber der Wärmerückgewinnung etwa 5-mal so hoch. Das Ziel sollte sein, wie in den Praxisbeispielen gezeigt wurde, Grauwasserrecycling mit der Wärmerückgewinnung zu kombinieren und dafür möglichst viele Grauwasserquellen nutzen.

Die hier ermittelten Untersuchungsergebnisse zeigen, dass das individuelle Verbraucherverhalten deutlich von den BDEW-Verbrauchsdaten<sup>19</sup> abweicht.

Am deutlichsten ist das beim sanierten Seniorenwohnheim, aber auch beim Passivhausneubau in Frankfurt zu erkennen. Im Seniorenwohnheim liegt der Toilettenspülwasserbedarf zeitweise doppelt so hoch wie der Grauwasseranfall aus Dusch-, Badeabwasser sowie den Abläufen aus Handwaschbecken und Waschmaschinen. Beim Frankfurter Passivhaus zeigen die Untersuchungsergebnisse, dass sehr viel warmes Abwasser von den Waschmaschinen und Küchen weitgehend ungenutzt in die Kanalisation abgeflossen ist.

In der Vergangenheit hat man sich beim Grauwasserrecycling leider meist auf das leicht belastete Grauwasser aus Badewannen und Duschen beschränkt. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass dadurch wertvolle Potenziale ungenutzt blieben. Die Wirtschaftlichkeit ließe sich zweifellos verbessern, sofern weitere Grauwasserquellen genutzt würden. Dass den Bewohnern im Berliner Block 6 selbst unter Einbezug der hoch belasteten Küchenabwässer ein hochwertiges Betriebswasser bereitgestellt wird, zeigen die langjährigen Untersuchungsergebnisse seit 2006. Selbst zu Coronazeiten, als erheblich höhere Zulauffrachten zu verzeichnen waren, funktionierte die Anlage einwandfrei. Es konnte ferner gezeigt werden, dass Betriebswasser aus Grauwasserrecyclinganlagen sich auch hervorragend für Aqua- und Hydrokulturen<sup>20</sup> eignet, womit sich weitere Anwendungsfälle für das

---

<sup>19</sup> <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/trinkwasserverwendung-im-haushalt/>

<sup>20</sup> <http://www.roofwaterfarm.com/kompakt/technologie/1531-2/>

Wasserrecycling eröffnet haben. Weitere Betriebswasseranwendungen erhöhen das Trinkwassereinsparpotenzial deutlich in Richtung 50% und mehr.

Für einen wartungsarmen Betrieb der Wärmerückgewinnung aus hoch belastetem Grauwasser bietet es sich an, die Wärme nicht im Anlagenzulauf, sondern an einer späteren Stelle der Aufbereitung oder gar am Ende zu entnehmen.

Ein automatisiertes Monitoring, dass die Anlage auf ihre volle Leistungsfähigkeit lückenlos überwacht und Abweichungen zeitnah an den verantwortlichen Betreiber meldet, trägt erheblich zur Wirtschaftlichkeit bei.

Die einmaligen Investitionskosten für die reine Anlagentechnik (Grauwasserrecycling inkl. Wärmerückgewinnung) sind stark von der Anlagengröße abhängig. Für das Pilotprojekt am Arnimplatz mit 123 Bewohnern wurden 2011 ca. 450,- € pro angeschlossene Person bzw. 11,38 € je Quadratmeter Wohnfläche veranschlagt. Für ein Studentenwohnheim mit 450 Betten ergaben sich 10 Jahre später bereits deutlich niedrigere Pro Kopf-Anlagenkosten.

Politik, Verwaltung, Investoren, Planer und ausführende Betriebe sind nun gleichermaßen gefragt, ob sie es weiterhin verantworten wollen, dass Wasser und Energie weiterhin verschwendet werden.

## 6. Anhang – Veröffentlichungen im Rahmen des DBU-Projekts

### **Wärme und Betriebswasser aus dem Grauwasser**

Veröffentlichung in Moderne Gebäudetechnik 7-8/2021,  
75. Jahrgang, HUSS-Medien GmbH Berlin, S. 20 – 29.

### **Das letzte Wärmeloch**

#### **Wärmerückgewinnung mit Grauwasser**

Veröffentlichung in EnEV-Baupraxis November/Dezember 2019.  
9. Jahrgang, Ausgabe 50 ISSN 3509-9477, S. 46 - 51.