



Deutsche  
Bundesstiftung Umwelt

DBU Projekt AZ 32156

# Steigerung der Energieerträge bei der Wärmerückgewinnung aus Grauwasser



**Nolde & Partner**  
innovative Wasserkonzepte

## **Bearbeitung**

Ingenieurbüro Nolde & Partner

Dipl.-Ing. Erwin Nolde

Marienburger Straße 31A

10405 Berlin

Tel.: 030 46 60 1751

Fax: 030 44 03 34 10

[Erwin.Nolde@t-online.de](mailto:Erwin.Nolde@t-online.de)

Berlin, im Mai 2016



# STEIGERUNG DER ENERGIEERTRÄGE BEI DER WÄRMERÜCKGEWINNUNG AUS GRAUWASSER

ABSCHLUSSBERICHT

Aktenzeichen: 32156



**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  
[Erwin.Nolde@t-online.de](mailto:Erwin.Nolde@t-online.de)

**Kooperationspartner**  
Bauherren des Kaiserlichen Postamtes  
Dipl.-Kauffrau (FH) Antje Krause und René Krause  
Wuttkestraße 4  
04347 Leipzig  
[info@kaiserlichespostamt.com](mailto:info@kaiserlichespostamt.com)

Berlin, im Mai 2016

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>9</b>
Warum Wärmerückgewinnung im Gebäude? .....	9
Jetziger Stand .....	9
Wie sehen die technischen Lösungen auf Gebäudeebene aus? .....	11
Einsparpotenziale .....	14
<b>2. Recyclingpotenziale des häuslichen Abwassers</b> .....	<b>14</b>
Nutzung des diskontinuierlich anfallenden Grauwassers .....	15
Warmwasserbedarf im Haushalt .....	16
Technische und rechtliche Anforderungen .....	17
Hygiene / Legionellen .....	18
Technik .....	20
Wärmeleitung und -übertragung .....	23
<b>3. Ergebnisse</b> .....	<b>24</b>
Untersuchung von Wärmetauscher in unterschiedlichen Grauwasserqualitäten .....	24
Wärmedurchgangskoeffizient .....	26
Wärmepufferspeicher .....	29
Wärmepumpe .....	34
Auswahl der Wärmepumpe .....	34
Kaiserliches Postamt .....	39
Variantenvergleich .....	45
<b>4. Bedeutung der gebäudeweisen Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser</b> .....	<b>50</b>

## Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Wohnungsweise Wärmerückgewinnungen für Anwendungen, bei denen Warmwasserbedarf und Abwasseranfall zeitgleich anfallen.....	11
Abbildung 2: Wärmerückgewinnung für den mehrgeschossigen Wohnungsbau für Anwendungen, bei der Warmwasserbedarf und Abwasseranfall auch zeitlich versetzt anfallen können.....	13
Abbildung 3: Modell zur Fluktuation der Legionellen Population in Abhängigkeit von der Tanktemperatur .....	18
Abbildung 4: Berechnungsbeispiel für zwei 10 kW Plattenwärmetauscher. ....	21
Abbildung 5: Wärmerückgewinnung aus Grauwasser zur Vorerwärmung von Trinkwasser ....	22
Abbildung 6: Fließbild Block 6 mit den Einbaupositionen der drei zu Versuchszwecken eingebauten Wärmetauscher. ....	24
Abbildung 7: Fotos zu den Versuchen mit den Wärmetauschern vor und während des Versuchsbetriebs. ....	25
Abbildung 8: Wärmedurchgangskoeffizient im DN 20 Wellrohr. ....	27
Abbildung 9: Abhängigkeit des U-Werts (Wellrohr DN 20) vom Volumenstrom des Zwischenmediums.....	27
Abbildung 10: Dichte des Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur .....	29
Abbildung 11: Messanordnung für die Untersuchungen an unterschiedlichen Wärmepufferspeichern .....	30
Abbildung 12: Betriebsergebnisse eines konventionellen Pufferspeichers. ....	30
Abbildung 13: Betriebsergebnisse eines Wärmepufferspeichers mit „normaler“ Einschichtung.....	31
Abbildung 14: Betriebsergebnisse des optimierten Wärmepufferspeichers im Praxisbetrieb. ....	31
Abbildung 15: Darstellung der Be- und Entladung des neuen Pufferspeichers über 12 h.. ....	33
Abbildung 16: Wärmepumpe mit Pufferspeicher und Blick in den Wärmetauscher. ....	34
Abbildung 17: Einsatz der Wärmepumpe (Versuchsaufbau).....	35
Abbildung 18: Betrieb der Wärmepumpe mit unterschiedlichen Wasservolumenströmen und niedrigen Temperaturdifferenzen.....	36

Abbildung 19: Veränderung des COP der Wärmepumpe bei sich ändernder Soletemperatur und Aufheizung eines Wärmepufferspeichers.....	37
Abbildung 20: Veränderung der Leistungszahl in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz..	37
Abbildung 21: Kennlinienbeispiel einer anderen Wärmepumpe (Herstellerangaben).	38
Abbildung 22: Außenaufnahmen vom sanierten und zur Seniorenresidenz ausgebautem Kaiserlichen Postamt in Leipzig.	39
Abbildung 23: Innenaufnahmen vom sanierten und zur Seniorenresidenz ausgebautem Kaiserlichen Postamt in Leipzig (Gemeinschaftsraum und Bibliothek).....	39
Abbildung 24: Aufstellungsplan zur Nachrüstung einer Grauwasserrecyclinganlage mit integrierter Wärmerückgewinnung.....	40
Abbildung 25: Vorbereitung der Grauwassererfassung.....	40
Abbildung 26: Vorbereitung der Betriebswassereinspeisung.....	40
Abbildung 27: Vorbereitung der Wärmeeinspeisung.....	41
Abbildung 28: Betriebswasserbedarf – allein für den Toilettenspülwasserbedarf in einem Seniorenwohnheim.	42
Abbildung 29: Kaiserliches Postamt - Strommonitoring in der 4. Januarwoche 2016.	43
Abbildung 30: Kaiserliches Postamt - Strommonitoring in der 2. Maiwoche 2016.	44

## Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Grauwasser ist eine Ressource.....	15
Tabelle 2: Wasserverbräuche nach bdew ergänzt um die Warmwasseranteile.....	16
Tabelle 3: Ergebnisse der Untersuchungen auf Legionellen.....	19
Tabelle 4: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe:.....	23
Tabelle 5: Technische Daten zur Wärmepumpe. ....	34
Tabelle 6: Erläuterungen zur Vorplanung.....	41
Tabelle 7: Energieträger und Ihre Primärenergiefaktoren .....	45
Tabelle 8: Rechnerischer Variantenvergleich verschiedener Wärmerückgewinnungsverfahren .....	47

## *Kurzfassung des Gesamtvorhabens*

Basierend auf den positiven Erfahrungen, den gewonnenen Grundlagen zur Wärmerückgewinnung aus Grauwasser (DBU-Projekt AZ 28201) und dem nunmehr 3-jährigen Anlagenmonitoring, wurden die Einzelkomponenten Wärmetauscher und Wärmepufferspeicher technisch weiterentwickelt und der Einbezug einer Wärmepumpe in das Wärmerückgewinnungskonzept untersucht. Ziel ist es, durch den Einbezug weiterer Grauwasserwärmequellen ohne höheren Wartungsaufwand höhere Energieerträge und, sofern möglich, eine verbesserte Wirtschaftlichkeit zu erzielen.

Der Wärmetauscher wurde mit positivem Ergebnis für stärker belastetes Grauwasser getestet. Die portionsweise Abkühlung des Grauwassers unter Sicherstellung, dass sich kein frisches Grauwasser mit bereits abgekühltem vermischen kann, hat sich bewährt.

Die Anforderungen an den Wärmepufferspeicher für den Niedertemperaturbereich wurden neu definiert, ein Prototyp wurde gebaut und erprobt. Die gute Einschichtung wurde im Praxisbetrieb unter Beweis gestellt.

Die Arbeit zeigt, dass die Wärmetauscher für die Wärmerückgewinnung (WRG) aus Abwasser im Vergleich zur Solartechnologie, bei der mit deutlich höheren Temperaturunterschieden gearbeitet wird, großzügiger zu dimensionieren sind, um hohe Energieausbeuten zu erreichen. Unter Inkaufnahme von geringen Leistungsverlusten kann die Wärmerückgewinnung über mehrere Jahre hinweg nahezu wartungsfrei betrieben werden.

Um weitere Wärmepotenziale, die nicht allein mit einem Wärmetauscher geerntet werden können, verfügbar zu machen, wurden Versuche mit einer 3 kW Wärmepumpe unter verschiedenen Rahmenbedingungen angestellt. Die Händlerangaben zur Wärmepumpe waren lückenhaft, der angegebene COP konnte nicht erreicht werden, die Ergebnisse waren deutlich schlechter als zuvor angenommen und weichen deutlich von Literaturwerten und Prospekten anderer Anbieter ab.

Alle Optimierungsarbeiten verfolgen das Ziel, möglichst viel Abwasserwärme zu ernten, andererseits aber auch dafür Sorge zu tragen, dass hierfür im laufenden Betrieb möglichst wenig Energie aus nicht erneuerbaren Quellen erforderlich ist, was über einen Variantenvergleich alternativer Wärmerückgewinnungsverfahren berechnet wurde.

Weil bei der WRG im Abwasserkanal für den wirtschaftlichen Betrieb auf der einen Seite große Abwassermengen von ca. 10.000 Personen zur Verfügung stehen müssen, die leider vorher schon sehr viel Wärmeenergie an die Umwelt abgegeben haben und auf der anderen Seite möglichst nur ein Großabnehmer wünschenswert ist, wird der dezentralen WRG zunehmend mehr Aufmerksamkeit geschenkt.

Auf der gesetzgeberischen Seite fehlen momentan noch die geeigneten Instrumente, dass die gewonnene Wärme als regenerativer Anteil in die Wärmemengenberechnungen - beispielsweise in die Regularien der EnEV- berücksichtigt werden.

## 1. Einleitung

### *Warum Wärmerückgewinnung im Gebäude?*

1. Das häusliche Abwasser stellt ein letztes großes Leck in der modernen Gebäudehülle dar. In gut gedämmten Häusern (z. B. Passivhäusern) geht heute z. T. mehr Energie durch den Abwasserabfluss verloren als durch die Gebäudehülle.
2. Abwasser ist eine Ressource, die neben der thermischen Nutzung der Abwärme ebenfalls eine erneuerbare Ressource für Wasser, Biogas und Nährstoffe darstellt. Abwasser ist eine Ressource, die im industriellen Bereich bereits vielfach genutzt wird, im häuslichen Bereich (leider) aber noch keine nennenswerte Rolle spielt – hier existiert ein enormes Innovationspotenzial. Voraussetzung für die Nutzbarmachung dieser Potenziale ist die leitungsmäßige Trennung zwischen Grau- und Schwarzwasser.
3. Über dezentrales Wärmerecycling lässt sich Energie einsparen, CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren und Betriebskosten senken. Mit der dezentralen WRG aus häuslichem Abwasser kann selbst dort Energie und CO<sub>2</sub> Einsparungen eingespart werden, wo andere Maßnahmen aus den unterschiedlichsten Gründen (wie Denkmalschutz etc.) schwer realisierbar sind.

### *Jetziger Stand*

Zum Trinken soll möglichst kaltes Wasser (< 12°C) erfrischen, ansonsten wird im Gebäude – außer zur Toilettenspülung - vorzugsweise erwärmtes Wasser verwendet, welches anschließend i.d.R. gering abgekühlt in die Kanalisation geleitet wird.

Der Heißwasserbedarf, gerechnet als 60°C warmes Wasser beträgt pro Person und Tag bei entsprechender Wasserspartechnologie 31 Liter. Je nach individuellem Verbraucherverhalten kann die Warmwassermenge im Einzelfall auch doppelt bis dreifache so hoch ausfallen. In einigen Hotels sind allein für Duschen und Baden > 100 L Warmwasser pro Übernachtung keine Ausnahme. Ein enormes Energiepotenzial, welches nach dem Gebrauch meist ungenutzt die Umwelt erwärmt, sowie maßgeblich zu Geruchsbelästigungen und Korrosion in der Kanalisation beiträgt.

Im Wohnungsbereich sind die als Grauwasser bezeichneten Abläufe aus Badewannen und Duschen im Mittel 31°C warm<sup>1</sup>. Zum Grauwasser gehören ferner die Abläufe aus Handwaschbecken, Küchenspülen, Geschirrspüler und Waschmaschinen.

Die diversen Technologien der Wärmerückgewinnung aus Schmutzwasser können in dem vorgegebenen Rahmen nicht vollständig wiedergegeben werden. Hier sei auf die Schweizer Studie „*Wärmerückgewinnung aus Schmutzwasser - Vorabklärung bezüglich des Potentials*“

---

<sup>1</sup> **Nolde, Erwin**: DBU-Endbericht AZ 28201, Dezentrale Abwasserwärmerückgewinnung in Kombination mit einer Grauwasserrecyclinganlage, Berlin 2013. [www.deutsche-digitale-bibliothek.de/binary/WIFQV5QR23IEEVHCY44QZNWZBNZEQJ7U/full/1.pdf](http://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/binary/WIFQV5QR23IEEVHCY44QZNWZBNZEQJ7U/full/1.pdf)

der Wärmerückgewinnung aus Schmutzwasser im Gebäude respektive auf dem Grundstück“ vom November 2013 und der Broschüre „Gebäudebezogene Nutzung von Abwasserwärme“ verwiesen<sup>2,3</sup>.

Realisiert man die Wärmerückgewinnung **zentral im kommunalen Abwasserkanal**, worauf bislang der Fokus lag, kann das bereits im Erdreich abgekühlte Abwasser i.d.R. nur noch um weitere 1 – 2 K abgekühlt werden. Eine weitere Abkühlung würde, insbesondere zur Winterzeit, die Funktion der Kläranlage beeinträchtigen. Gelangt Schmelzwasser aus Schnee und Eis in die Kanalisation muss zeitweise ganz auf die Wärmerückgewinnung verzichtet werden. Geht man von einem durchschnittlichen Wasserverbrauch von 110 L/P/d aus, der um 1,5 K abgekühlt wird, könnten rein theoretisch mit der zentralen Variante bis 70 kWh/P/a Wärmenergie über Wärmepumpen (JAZ 4) gewonnen werden, die wiederum Energie (Gas oder elektrischen Strom) benötigen (siehe Tabelle 8). Bei der **zentralen Wärmerückgewinnung im Kläranlagenablauf** ist das Potenzial nochmals geringer; meist fehlt es an geeigneten Abnehmern der Wärme.

### Vergleich zentral-dezentral

Der Vorteil der dezentralen Wärmerückgewinnung (WRG) gegenüber der zentralen Variante liegt, neben dem vielfach höherem Wärmepotenzial, rein technisch gesehen darin, dass die dezentrale WRG prinzipiell überall realisiert werden kann, während die zentrale WRG Mindest-Kanaldurchmesser von 80 cm und einen Minstdurchfluss von ca. 15 l/s benötigt – also mind. 10.000 – 15.000 Personen als Abwasserwärmelieferanten benötigt. Als Kunden der zentralen WRG kommen i.d.R. nur Wärmegroßabnehmer in Betracht.

---

<sup>2</sup> **Stefan van Velsen, Michael Benz:** Wärmerückgewinnung aus Schmutzwasser, Vorabklärung bezüglich des Potentials der Wärmerückgewinnung aus Schmutzwasser im Gebäude respektive auf dem Grundstück. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie (Schweiz), Bern 2013.  
[http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de\\_224269254.pdf&endung=W%E4rmer%FCckgewinnung%20aus%20Schmutzwasser;%20Vorabkl%E4rung%20bez%FCglich%20des%20Potentials%20der%20W%E4rmer%FCckgewinnung%20aus%20Schmutzwasser%20im%20Geb%E4ude%20respektive%20auf%20dem%20Grundst%FCck](http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_224269254.pdf&endung=W%E4rmer%FCckgewinnung%20aus%20Schmutzwasser;%20Vorabkl%E4rung%20bez%FCglich%20des%20Potentials%20der%20W%E4rmer%FCckgewinnung%20aus%20Schmutzwasser%20im%20Geb%E4ude%20respektive%20auf%20dem%20Grundst%FCck).

<sup>3</sup> Berliner Netzwerk E: Gebäudebezogene Nutzung von Abwasserwärme. Berlin (2011).

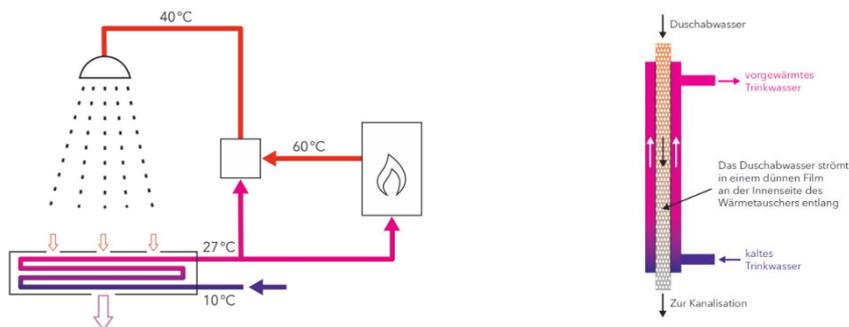
## Wie sehen die technischen Lösungen auf Gebäudeebene aus?

Um die Abwasserwärme im Gebäude zurückzugewinnen, bieten sich **wohnungsweise und gebäudeweise** Möglichkeiten an (siehe Abb. 1 und Abb. 2).

Bei der **dezentralen** Wärmerückgewinnung kann die gewonnene Abwasserwärme ganzjährig zur Vorerwärmung des kalten Trinkwassers genutzt werden, bevor dieses über eine Gastherme, BHKW, etc. auf Endtemperatur gebracht wird.

Die kleinste dezentrale Wärmerückgewinnung ist

- eine Dusche mit integrierter WRG, bzw. mittels eines Fallrohrwärmetauschers den **kontinuierlichen**, zeitgleich anfallenden Abwasserstrom zu nutzen. Hierzu gibt es in der EU scheinbar einen großen Erfahrungsschatz. In Deutschland ist das System bisher weniger verbreitet. In diesem Zusammenhang sei auf eine wissenschaftlich fundierte Veröffentlichung von Jürgen Schnieders (Passivhausinstitut Darmstadt) verwiesen.<sup>4</sup>



**Abbildung 1:** Wohnungsweise Wärmerückgewinnungen für Anwendungen, bei denen Warmwasserbedarf und Abwasseranfall zeitgleich anfallen (Quelle: Fa. Wagner)<sup>5</sup>.

Die nächst größere Einheit ist

- eine Wärmerückgewinnung auf das gesamte im Gebäude anfallenden Schmutzwasser bzw. Grauwasser auszuweiten, um zusätzlich auch die **diskontinuierlich** anfallenden Abwasserströme zu nutzen (Abbildung 2).

Besonders interessant erscheint es in diesem Zusammenhang, bereits bei der Abwassererfassung darauf Wert zu legen, dass das Abwasser mit geringen Wärmeverlusten (Materialauswahl der Abwasserrohre bzw. Isolierung) und zugleich möglichst warm für die WRG bereit steht. Hierfür soll lediglich das deutlich wärmere Grauwasser (Dusch- und Badeabwasser sowie das aus Handwaschbecken, Waschmaschinen, Geschirrspüler und Küchen) genutzt werden, zumal sich durch die

<sup>4</sup> Schnieders, J.: Passive Wärmerückgewinnung aus Duschwasser, in HLH Bd. 65 (2014) Nr. 10, S 76 – 78.

<sup>5</sup> <http://www.wagner-solar.com/waerme/produkte/waermerueckgewinnung.html>

getrennte Erfassung von Grau- und Schwarzwasser die Möglichkeit des Wasserrecyclings anbietet, bis hin zur Flüssigdüngererzeugung aus Schwarzwasser<sup>6</sup>.

Bei den gebäudeintegrierten Systemen wird das Grauwasser zwischengespeichert, was den Vorteil hat, dass die Wärmerückgewinnung auch aus Badewannen und anderen Quellen genutzt werden könnte, bei denen der Abwasseranfall zeitverzögert - also nicht stationär - in die Wärmerückgewinnungsanlage fließt. Derartige Einheiten sind verfügbar für Anschlussgrößen ab ca. 30 Bewohnern bis hin zu mehreren Hundert und mehr. Für das zweite (wärmeverlustrarme) Leitungsnetz, welches das Grauwasser getrennt vom Schwarzwasser (Toilettenabwasser) erfasst, gibt es ebenfalls diverse Hersteller, bis hin zu Firmen, die in vorhandene Abwasserleitungen nachträglich eine zweite Leitung als Inliner<sup>7</sup> einbringen.

Der Einbezug des Schwarzwasseranteils hätte – außer, dass in diesem Fall kein zweites Leitungsnetz benötigt würde, keine weiteren Vorteile. Nachteilig wirkt sich aus, dass über die Toilette nicht selten „Störstoffe“ wie Farbreste, Fette, Essensreste bis hin zu Textilien und neuerdings auch zunehmend sogenannte reißfeste Feuchttücher<sup>8,9</sup> „entsorgt“ werden, was i.d.R. große Probleme in den nachgeschalteten Stufen verursacht.

Wegen des Verdünnungseffekts durch (viel) Spülwasser wird das Nährstoffrecycling generell erschwert. Würde dann noch Grauwasser hinzukommen, würde das die stoffliche Verwertungsmöglichkeit, hin zu einem gut pflanzenverfügbaren Dünger, nochmals massiv einschränken.

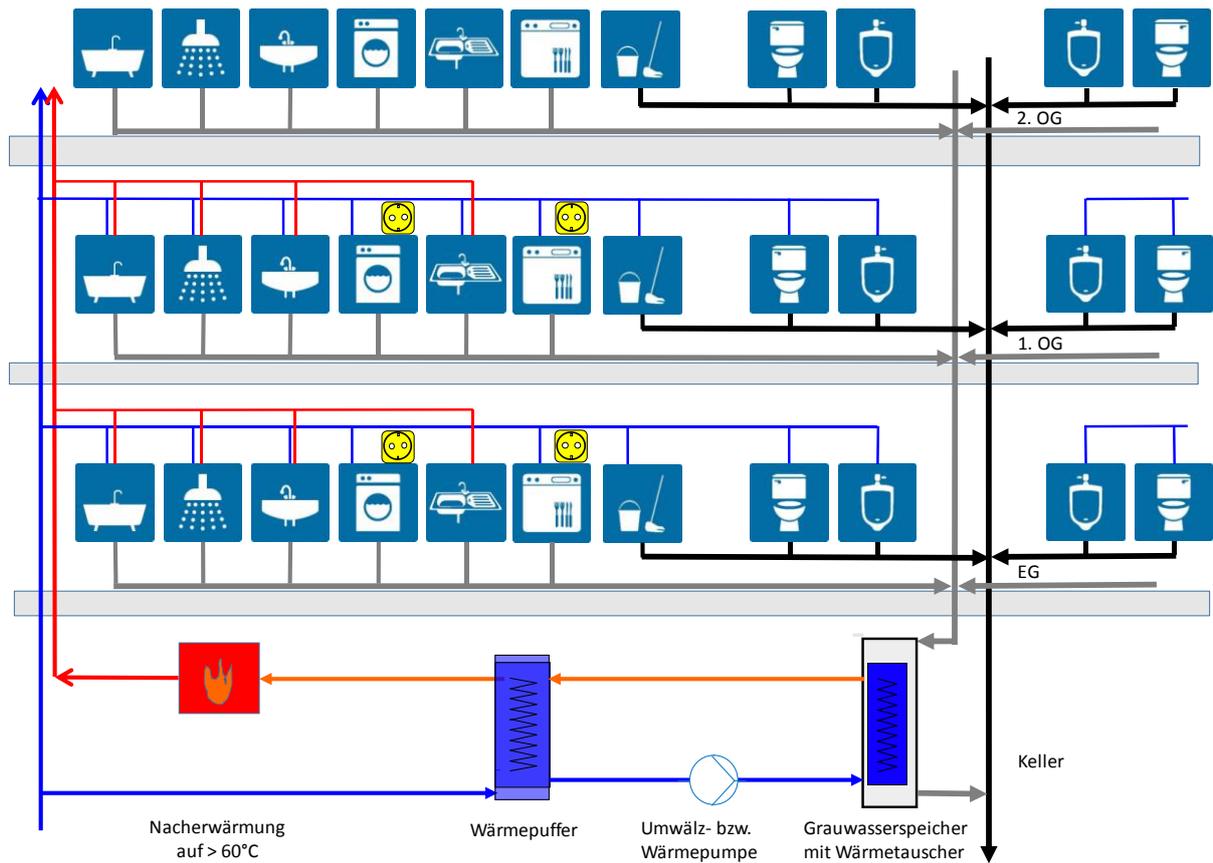
---

<sup>6</sup> <http://www.roofwaterfarm.com/>

<sup>7</sup> <http://www.detail.de/artikel/neue-sanitaersysteme-fuer-den-gebaeudebestand-12443/>

<sup>8</sup> <http://www.swr.de/swr2/wissen/feuchttuecher-verstopfen-kanalisation/-/id=661224/did=16307532/nid=661224/1wx2v66/index.html>

<sup>9</sup> <http://sz-magazin.sueddeutsche.de/texte/anzeigen/43185/2/1>



**Abbildung 2:** Wärmerückgewinnung für den mehrgeschossigen Wohnungsbau für Anwendungen, bei der Warmwasserbedarf und Abwasseranfall auch zeitlich versetzt anfallen können. Die „kalten“, gleichzeitig hoch belasteten Fäkalabwässer werden getrennt abgeleitet – sie gelangen nicht in die Wärmerückgewinnung.

## Einsparpotenziale

Geht man, konservativ betrachtet, von „nur“ 31 Litern Heißwasser pro Person und Tag aus, die von 10 auf 60°C zu erwärmen sind, werden hierfür, ohne jegliche Verluste, ca. 656 kWh/P/a für die Erwärmung benötigt. Genau die Wärmemenge, die je nach der zur Anwendung kommenden Wärmerückgewinnungstechnologie, **abzüglich** der Wärmeverluste, im Abwasserrohr genutzt werden kann. Genau genommen ist das Potenzial noch höher. Hinzu kommen nämlich noch Waschmaschinen und Geschirrspüler, die Kaltwasser über elektrischen Strom aufwärmen (siehe Tabelle 2).

## 2. Recyclingpotenziale des häuslichen Abwassers

Um das Wärmepotenzial optimal auszunutzen, ist es vorteilhaft, Abwasserquellen, welche keine Warmwasseranteile (Toiletten, Urinale) enthalten, getrennt zu erfassen und als Wertstoff zu nutzen. Die Schwarzwasserfraktion, bestehend aus Urin, Faeces - momentan noch mit ca. 30 Liter Spülwasser pro Person und Tag verdünnt - enthält ca. 75 bis 95% der pflanzenwichtigen Nährstoffe NPK (Tabelle 1).

**Während die Grauwasserfraktion ca. 77% der spezifischen Wassermenge bei einer angenommenen Temperaturdifferenz von 14 K eine nutzbare Wärmemenge von 1.754 Wh/P/d enthält, beträgt das Biogaspotenzial des Gesamtabwassers lediglich 118 Wh/P/d.** Die zentrale Wärmerückgewinnung im Kanal hat den Nachteil, dass das Abwasser von 10.000 Personen – die aus wirtschaftlichen Gründen erforderlich sind – bereits weitgehend abgekühlt ist, bevor die Wärmerückgewinnung stattfinden kann. **Das nutzbare Potenzial der Wärmerückgewinnung aus dem kommunalen Abwasserkanal beträgt ca. 243 Wh/P/d, womit klar gezeigt ist, wo die Potenziale zur Energieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Reduzierung vorrangig zu mobilisieren sind**

Tabelle 1: Grauwasser ist eine Ressource für Wasser und Wärmeenergie. Gering verdünnter Urin und Fäkalien eine Ressource für Nährstoffe und ggf. auch für Biogas.

	Urin		Faeces		Schwarzwasser Faeces + Urin + 30 Liter WC Spülwasser		Grauwasser (dezentral)			Gesamtabwasser (zentral)		
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	Summe kg/E/a	Summe g/E/d	Liter
Menge	1,4	1,0%	0,14	0,1%	31,5	22,6%	108	77%		50.921	139,5	
CSB	10	8,5%	60	51,3%	70,0	59,8%	47,0	40%	839	43	117	
N	10	80,6%	1,5	11,6%	11,9	92,2%	1,0	8%	92,5	4,7	12,9	
P	1	50,0%	0,5	25,0%	1,5	75,0%	0,5	25%	14,3	0,7	2,0	g/E/d
K	2,5	59,5%	0,7	16,7%	3,2	76,2%	1,0	24%	30,1	1,5	4,2	
S	0,7	19,4%	0,2	5,6%	0,9	25,0%	2,9	81%	27,2	1,4	3,8	
<b>Energiebetrachtung</b>												
Wärme- potenzial	K	27	27				14				1,5	
Biogas	Wh/E/d	42,9	4,4				1.754			243		
	Wh/E/d									118		

### Nutzung des diskontinuierlich anfallenden Grauwassers

Die Monitoringergebnisse aus den Projekten am Arnimplatz und in der Marienburger Straße haben gezeigt, dass mit dem Dusch- und Badeabwasser offensichtlich nur ein kleiner Anteil des warmen Abwassers erfasst wird. Bei einer Heißwasserabgabe (60°C) von ca. 3.000 Liter/d müsste hier der Grauwasseranfall eigentlich deutlich höher ausfallen. In beiden Projekten lag dieser jedoch deutlich niedriger als die gezapfte Heißwassermenge<sup>10</sup>.

Unter der Annahme, dass das Kaltwasser eine Temperatur von höchstens 12 °C aufweist und dass das genutzte Warmwasser höchstens 40°C heiß ist, müssten bei 3.000 Liter Heißwasser mind. rund 5.400 Liter warmes Grauwasser anfallen. Hinzu kommt noch warmes Abwasser aus der Waschmaschine und dem Geschirrspüler, die i.d.R. nicht über die Warmwasserbereitung, sondern mit Strom beheizt werden.

Um dieses Potenzial vollständig auszuschöpfen reicht es nicht, die Wärmerückgewinnung allein auf das leicht belastete Dusch- und Badeabwasser zu begrenzen. Um die Wirtschaftlichkeit zu optimieren und das ökologische Potenzial des Systems auszuschöpfen, sollte möglichst das gesamte Grauwasser in das Konzept einbezogen werden.

### Warmwasserbedarf im Haushalt

Der Heißwasserbedarf, gerechnet als 60°C warmes Wasser, welchem je nach Anwendungszweck mehr oder weniger Kaltwasser zugemischt wird, beträgt pro Person und Tag bei entsprechender Wasserspartechnologie 31 Liter. Dazu kommen die Anteile von ca. 13 Liter Heißwasser, die zum Wäschewaschen, für die Geschirrspülmaschine bzw. aus dem Küchenbereich entstehen und i.d.R. mit elektrischem Strom erwärmt werden (siehe Tabelle 2). Je nach individuellem Verbraucherverhalten kann die Warmwassermenge im Einzelfall deutlich höher ausfallen.

**Tabelle 2:** Wasserverbräuche nach bdew<sup>11</sup> (blaue Schriftzeichen) ergänzt um die Warmwasseranteile (eigene Erhebungen).

Verwendungszweck	ohne Gewerbe		kalt	warm	elek. erwärmt	nicht nutzbar
	L/P/d	%	L/P/d	L/P/d	L/P/d	L/P/d
Baden/Duschen/Körperpflege	43,6	40%	17,4	26,1		
Wäsche waschen	14,5	13%	5,8		8,7	
Geschirrspülen	7,3	7%	2,9		4,4	
Toilettenspülung	32,7	30%	13,1			
Essen/Trinken	4,8	4%	1,9	2,9		
Raumreinigung/Autopflege/Garten	7,3	7%	2,9	2,0		2,0
<b>Summen</b>	<b>110</b>			<b>31,0</b>	<b>13,1</b>	<b>2,0</b>

<sup>10</sup> DBU Abschlussbericht <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-28201.pdf>

<sup>11</sup> [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/3852C5217E9FD4E1C125786C004274E7/\\$file/Trinkwasserverwendung%20im%20HH%202014-Anteile.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/3852C5217E9FD4E1C125786C004274E7/$file/Trinkwasserverwendung%20im%20HH%202014-Anteile.pdf).

## ***Technische und rechtliche Anforderungen***

Die Wärmerückgewinnung – insbesondere dann, wenn sie darauf abzielt, möglichst viel Wärme mit möglichst wenig Primärenergieaufwand aus dem Grauwasser zu gewinnen, ist mit überwindbaren technischen Hürden verbunden.

- Da Wärmebedarf und Grauwasseranfall in den seltensten Fällen zeitlich exakt übereinstimmen, ist das Grauwasser mehr oder weniger lange – möglichst ohne Wärmeverluste - zu puffern.
- Möglichst hohe Wärmemengen sollten möglichst schnell und vollständig übertragen werden
  - Ideal wäre es, wenn bei jeder Warmwasserzapfung eine mengenmäßig genau geregelte Menge warmes Grauwasser in einem Gegenstromwärmetauscher seine Energie an das kalte Trinkwasser übergeben könnte.
  - Ferner wäre sicherzustellen, dass der Gegenstromwärmetauscher dabei regelmäßig (kontinuierlich) gereinigt wird.
- Eine weitere Hürde besteht darin, dass es die EN 1717 nicht gestattet, dass die Außenseite einer Trinkwasserleitung Kontakt zu Abwasser etc. hat, wie es beispielsweise bei einem konventionellen Plattenwärmetauscher der Fall wäre.
- Das vorerwärmte Wasser soll nach den geltenden Regeln möglichst nicht über 25°C erwärmt werden, weil sonst unter bestimmten Voraussetzungen (z. B. Stagnation) ein Legionellenwachstum begünstigt werden könnte.

Grauwasser ist nicht frei von Krankheitskeimen. Nach EN 1717 gehört Abwasser aus Körperreinigung zur Gefährdungsklasse 5 (höchste Gefährdungsklasse), eine doppelwandige Trennung von Abwasser und Trinkwasser ist daher vorgeschrieben. Es gilt zu verhindern, dass Krankheitskeime durch Korrosion etc. ins Trinkwasser gelangen können. Bei Planung, Bau und Betrieb einer Wärmerückgewinnungsanlage sind die Anforderungen der Trinkwasserverordnung zu beachten.

- DIN EN 1717 Schutz des Trinkwassers
- DIN EN 806 Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen
- DIN 1988 Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen (gilt weiterhin, über EN 806 hinaus)
- DIN 4708 Warmwasserbedarf, und
- das DVGW Arbeitsblatt W 551 "Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen, Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums, Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen."

## Hygiene / Legionellen

Bei Wassertemperaturen unter 25°C spricht man von Kaltwassersystemen. Legionellen vermehren sich bis zu potenziell gefährlichen Konzentrationen bevorzugt in Warmwassersystemen bei Temperaturen zwischen 25 und 50 °C. Ein Modell zur Fluktuation der Legionellen Population in Abhängigkeit von der Tanktemperatur wird in Abbildung 3: dargestellt. Im Vergleich zu *E.coli* (Verdopplungszeit unter idealen Bedingungen ca. 30 min.) wachsen Legionellen ausgesprochen langsam. Wichtiger als das Temperturkriterium erscheint dem Verfasser, dass im System der WRG keine langen Stagnationszeiten auftreten und sich auf der Trinkwasserseite – also im Innenrohr - möglichst kein Biofilm ausbilden kann.

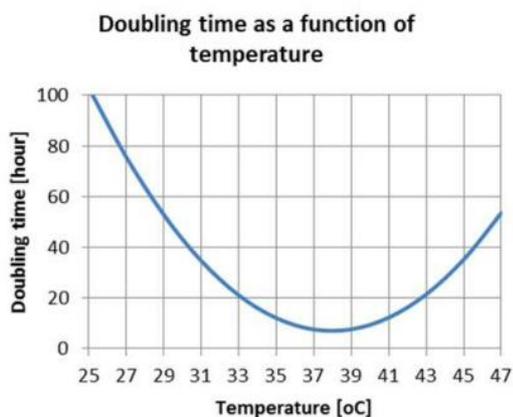


Abbildung 3: Modell zur Fluktuation der Legionellen Population in Abhängigkeit von der Tanktemperatur <sup>12</sup>.

Wassertemperaturen um 25°C und höher lassen sich, insbesondere im Sommer, in der Kaltwasserinstallation nicht immer vermeiden, vorallem, wenn Warm- und Kaltwasserleitungen parallel und nicht ausreichend gedämmt in einem Schacht geführt werden.

Im DVGW-Arbeitsblatt W 551 wird unterschieden zwischen Klein- und Großanlagen:

- Kleinanlagen sind Trinkwassererwärmer mit einem Inhalt  $\leq 400$  L und einem Inhalt  $\leq 3$  L in jeder Rohrleitung zwischen dem Abgang Trinkwassererwärmer bzw. Zirkulationsleitung und Entnahmestelle
- Kleinanlagen sind alle Anlagen in Ein- oder Zweifamilienhäusern
- Großanlagen sind alle anderen.

Das Arbeitsblatt W 551 erwähnt ausdrücklich „Vorwärmstufen“: dies sind dem Trinkwassererwärmer vorgeschaltete weitere Erwärmer, z.B. aus Wärmerückgewinnungsanlagen, Solaranlagen. Es wird vorgeschrieben, dass Vorwärmstufen in Kleinanlagen auf  $> 60$  °C erwärmt werden **können** müssen. In Großanlagen ist die Erwärmung auf  $> 60$  °C tatsächlich durchzuführen, und zwar täglich. Das wird noch einmal explizit für Anlagen mit Vorwärmstufen und  $> 400$  l Gesamtvolumen gefordert.

<sup>12</sup> G. van Amerongen: REPORT - Legionella and solar water heaters (2013).

Um die nicht auszuschließende Gefährdung abschätzen zu können, wurden am 04.06.2015 insgesamt 6 Wasserproben von 3 Standorten - an denen eine Wärmerückgewinnung aus Grauwasser stattfindet - im Hinblick auf die „Legionellenproblematik“ untersucht.

**Tabelle 3:** Ergebnisse der Untersuchungen auf Legionellen.

Probe	Entnahmeort	Zapfstellenbezeichnung	Probenahmetemperatur/ Maximaltemperatur in °C	Legionella sp. KbE in 100 ml
1	Marienburger Straße 31A	Probenahmezapfstelle Warmwasser	53,3/57,2	0
2		Probenahmezapfstelle Zulauf zur WW Bereitung	22,5/-	1
3	Schönfließler Straße 3	Puffermedium im offenen drucklosen Wärmespeicher	24,4/-	700
4		Probenahmezapfstelle Warmwasser	63,8/63,8	0
5		Probenahmezapfstelle Ablauf Wärmerückgewinnung	24,2/23,7	0
6	Bernburger Straße 22	Abgestandenes Wasser im inneren des Wärmetauschers (TW-seitig)		0

Das Analyseergebnis zeigt die Legionellenkonzentration, ausgedrückt als Anzahl von Kolonien bildenden Einheiten (KbE) pro 100 ml. Das Ergebnis liefert keine Aussage darüber, ob es sich dabei um den pathogenen Stamm *Legionella pneumophila* handelt oder lediglich um ungefährliche Legionellen. Bei einem Nachweis unter 100 KbE/100 ml besteht kein Grund zum Handeln. Diese Werte befinden sich noch im Toleranzbereich. Wird ein Wert bis 1.000 KBE/100 ml gemessen, ist eine Sanierung der Wasserverteilung erforderlich, die innerhalb eines Jahres erfolgen sollte. Weitergehende Untersuchungen wären dann erforderlich, um die Bakterienkonzentrationen im Auge zu behalten.

Die Laborergebnisse zeigen, dass das an die Endverbraucher abgegebene Warmwasser stets legionellenfrei war (Probe 1 und Probe 4). Auch in den Wärmetauschern, die Temperaturen um 25°C aufweisen, konnten keine Legionellen nachgewiesen werden, selbst dann nicht, wenn sie mehrere Wochen nicht durchströmt wurden (Probe 6). Auch die Proben zum Zulauf der Warmwasserbereitung (Probe 2 und Probe 5) waren unauffällig.

Um zu sehen, ob sich Legionellen in einem nicht durchströmten offenen, drucklosen ca. 400 Liter fassenden Wärmepufferspeicher, der ca. 3,5 Jahre vorher mit Wasser (als Wärmeträger) gefüllt wurde (das seit der Erstbefüllung stagniert und nicht ausgetauscht wurde) und in dem Temperaturen um 25°C herrschen, vermehren, wurde Probe 3 entnommen. Das Messergebnis (700 KbE/100 ml) macht erwartungsgemäß deutlich, dass Legionellen sich **in lange stagnierenden Systemen**, bei Temperaturen um 25°C, durchaus vermehren.

Ob Legionellen, die ihr Wachstumsoptimum im Temperaturbereich von 36 -40°C haben, sich in zentral angeordneten und damit quasi **ständig durchströmten Wärmetauschern**, die im Temperaturbereich von 25 – 55 °C betrieben werden, anreichern, ist für die Wärmerückgewinnung ein wichtiges Thema, zu dem bisher keine Informationen verfügbar sind.

## Technik

Aus verfahrenstechnischer Sicht böte sich ein kompakter und volumenstromgeregelter Gegenstromwärmetauscher (z. B ein Plattenwärmetauscher) an, der das kalte Trinkwasser zeitgleich gesteuert mit einem nahezu gleichen Volumenstrom durch warmes Grauwasser auf der anderen Seite erwärmt. Das in einem einzigen Durchlauf abgekühlte Wasser würde dann in die nächst folgende Stufe der Aufbereitung oder Nutzung fließen. Der Plattenwärmetauscher würde abwasserseitig allerdings sehr schnell einen isolierenden Biofilm ausbilden bzw. das System rasch verstopfen lassen. Eine automatische Reinigung der feinen Kanäle würde sich vermutlich schwierig gestalten und es bestünde nach wie vor das Problem, dass man mit dieser Technik gegen die EN 1717 verstoßen würde.

Abbildung 4 zeigt, ungeachtet dessen, die vergleichende Berechnung zweier Plattenwärmetauscher mit einer Leistung von jeweils 10KW. Das linke Beispiel die WRG aus Grauwasser, während das rechte die Berechnung für eine thermische Solaranlage zeigt. Der Vergleich macht deutlich, dass der Wärmetransport bei gleicher Leistung bei einer Solaranlage erheblich leichter zu realisieren ist, als bei der WRG aus Abwasser. Deutlich kleinere Volumenströme und deutlich kompaktere Wärmetauscher erleichtern das Einlagern der Solarenergie in den Pufferspeicher. Während der 10 kW Solarwärmetauscher lediglich 1,8 kg wiegt, ist für die WRG aus Grauwasser ein Plattenwärmetauscher mit einem Gewicht von 10,8 kg erforderlich.

# Edelstahl Wärmetauscher

Plattenwärmetauscher Berechnung einphasig und Sattdampf zweiphasig

Leistung vorgeben **10 kW**

Primär: Warme Seite Wasser  
 Sekundär: Kalte Seite Wasser

Sattdampf:  bar  
 P1-Temp.-Ein:  °C  
 P3-Temp.-Aus:  °C  
 Massenstrom:  kg/h  
 Max. Druckverlust:  kPa

S4-Temp. Eintritt:  °C  
 S2-Temp. Austritt:  °C  
 Massenstrom:  kg/h  
 Max. Druckverlust:  kPa

Ref.-Temperatur: 24 °C  
 Wärmekapazität: 4.182 kJ/kg K  
 Dichte: 998 kg/m³  
 Volumenstrom: 10.2 Liter/Min  
 Massenstrom: 0.17 kg/s  
 Wärmeleitkoeffizient: 0.604 W/m K  
 Dyn. Viskosität: 907 10E-6 kg/s m

Ref.-Temperatur: 20 °C  
 Wärmekapazität: 4.185 kJ/kg K  
 Dichte: 997 kg/m³  
 Volumenstrom: 8.9 Liter/Min  
 Massenstrom: 0.149 kg/s  
 Wärmeleitkoeffizient: 0.598 W/m K  
 Dyn. Viskosität: 1001 10E-6 kg/s m

0.614 m³/h  
 0.538 m³/h

31 °C  
 28 °C  
 17 °C  
 12 °C

0.143 m³/h  
 0.156 m³/h

90 °C  
 65 °C  
 10 °C

Ref.-Temperatur: 37.5 °C  
 Wärmekapazität: 4.177 kJ/kg K  
 Dichte: 991 kg/m³  
 Volumenstrom: 2.6 Liter/Min  
 Massenstrom: 0.043 kg/s  
 Wärmeleitkoeffizient: 0.623 W/m K  
 Dyn. Viskosität: 679 10E-6 kg/s m

Ref.-Temperatur: 60 °C  
 Wärmekapazität: 4.182 kJ/kg K  
 Dichte: 982 kg/m³  
 Volumenstrom: 2.3 Liter/Min  
 Massenstrom: 0.039 kg/s  
 Wärmeleitkoeffizient: 0.649 W/m K  
 Dyn. Viskosität: 470 10E-6 kg/s m

Ref.-Temperatur: 37.5 °C  
 Wärmekapazität: 4.177 kJ/kg K  
 Dichte: 991 kg/m³  
 Volumenstrom: 2.6 Liter/Min  
 Massenstrom: 0.043 kg/s  
 Wärmeleitkoeffizient: 0.623 W/m K  
 Dyn. Viskosität: 679 10E-6 kg/s m

**Reset** **Berechnen** **Shop**

Empfohlene Wärmetauscher:  
 Serie x Parallel Modell x n-Platten  
 EWT-B3-60 x 30  
 1633 W/m² K  
 1.53 m²  
 1.66 m²  
 9 %  
 0.048 m/s / 0.042 m/s  
 0.143 m/s / 0.125 m/s  
 0.95 kPa / 0.76 kPa  
 529mm x 124mm x (79+20)/mm  
 10.8 kg  
 5 K / 3 K  
 4 K

EWT-B3-60 x 40  
 1343 W/m² K  
 1.861 m²  
 2.28 m²  
 18 %  
 0.036 m/s / 0.032 m/s  
 0.143 m/s / 0.125 m/s  
 0.77 kPa / 0.62 kPa  
 529mm x 124mm x (116+20)/mm  
 13.4 kg  
 5 K / 3 K  
 4 K

Empfohlene Wärmetauscher:  
 Serie x Parallel Modell x n-Platten  
 EWT-B3-23 x 20  
 1549 W/m² K  
 0.293 m²  
 0.41 m²  
 29 %  
 0.031 m/s / 0.033 m/s  
 0.198 m/s / 0.216 m/s  
 0.14 kPa / 0.17 kPa  
 315mm x 73mm x (52+20)/mm  
 1.8 kg  
 25 K / 20 K  
 22 K

EWT-B3-23 x 30  
 1175 W/m² K  
 0.386 m²  
 0.64 m²  
 40 %  
 0.02 m/s / 0.022 m/s  
 0.198 m/s / 0.216 m/s  
 0.1 kPa / 0.13 kPa  
 315mm x 73mm x (74+20)/mm  
 2.5 kg  
 25 K / 20 K  
 22 K

Log. Mittlere Temp. Differenz:  
 5 K / 3 K  
 4 K

Log. Mittlere Temp. Differenz:  
 25 K / 20 K  
 22 K

Log. Mittlere Temp. Differenz:  
 25 K / 20 K  
 22 K

Log. Mittlere Temp. Differenz:  
 25 K / 20 K  
 22 K

Version 4.0 - Alle Angaben ohne Gewähr.  
 R.100 R.102 R.103 R.104 R.105 R.106 R.107 R.108 R.109 R.110 R.111 R.112 R.113 R.114 R.115 R.116 R.117 R.118 R.119 R.120 R.121 R.122 R.123 R.124 R.125 R.126 R.127 R.128 R.129 R.130 R.131 R.132 R.133 R.134 R.135 R.136 R.137 R.138 R.139 R.140 R.141 R.142 R.143 R.144 R.145 R.146 R.147 R.148 R.149 R.150 R.151 R.152 R.153 R.154 R.155 R.156 R.157 R.158 R.159 R.160 R.161 R.162 R.163 R.164 R.165 R.166 R.167 R.168 R.169 R.170 R.171 R.172 R.173 R.174 R.175 R.176 R.177 R.178 R.179 R.180 R.181 R.182 R.183 R.184 R.185 R.186 R.187 R.188 R.189 R.190 R.191 R.192 R.193 R.194 R.195 R.196 R.197 R.198 R.199 R.200 R.201 R.202 R.203 R.204 R.205 R.206 R.207 R.208 R.209 R.210 R.211 R.212 R.213 R.214 R.215 R.216 R.217 R.218 R.219 R.220 R.221 R.222 R.223 R.224 R.225 R.226 R.227 R.228 R.229 R.230 R.231 R.232 R.233 R.234 R.235 R.236 R.237 R.238 R.239 R.240 R.241 R.242 R.243 R.244 R.245 R.246 R.247 R.248 R.249 R.250 R.251 R.252 R.253 R.254 R.255 R.256 R.257 R.258 R.259 R.260 R.261 R.262 R.263 R.264 R.265 R.266 R.267 R.268 R.269 R.270 R.271 R.272 R.273 R.274 R.275 R.276 R.277 R.278 R.279 R.280 R.281 R.282 R.283 R.284 R.285 R.286 R.287 R.288 R.289 R.290 R.291 R.292 R.293 R.294 R.295 R.296 R.297 R.298 R.299 R.300 R.301 R.302 R.303 R.304 R.305 R.306 R.307 R.308 R.309 R.310 R.311 R.312 R.313 R.314 R.315 R.316 R.317 R.318 R.319 R.320 R.321 R.322 R.323 R.324 R.325 R.326 R.327 R.328 R.329 R.330 R.331 R.332 R.333 R.334 R.335 R.336 R.337 R.338 R.339 R.340 R.341 R.342 R.343 R.344 R.345 R.346 R.347 R.348 R.349 R.350 R.351 R.352 R.353 R.354 R.355 R.356 R.357 R.358 R.359 R.360 R.361 R.362 R.363 R.364 R.365 R.366 R.367 R.368 R.369 R.370 R.371 R.372 R.373 R.374 R.375 R.376 R.377 R.378 R.379 R.380 R.381 R.382 R.383 R.384 R.385 R.386 R.387 R.388 R.389 R.390 R.391 R.392 R.393 R.394 R.395 R.396 R.397 R.398 R.399 R.400 R.401 R.402 R.403 R.404 R.405 R.406 R.407 R.408 R.409 R.410 R.411 R.412 R.413 R.414 R.415 R.416 R.417 R.418 R.419 R.420 R.421 R.422 R.423 R.424 R.425 R.426 R.427 R.428 R.429 R.430 R.431 R.432 R.433 R.434 R.435 R.436 R.437 R.438 R.439 R.440 R.441 R.442 R.443 R.444 R.445 R.446 R.447 R.448 R.449 R.450 R.451 R.452 R.453 R.454 R.455 R.456 R.457 R.458 R.459 R.460 R.461 R.462 R.463 R.464 R.465 R.466 R.467 R.468 R.469 R.470 R.471 R.472 R.473 R.474 R.475 R.476 R.477 R.478 R.479 R.480 R.481 R.482 R.483 R.484 R.485 R.486 R.487 R.488 R.489 R.490 R.491 R.492 R.493 R.494 R.495 R.496 R.497 R.498 R.499 R.500 R.501 R.502 R.503 R.504 R.505 R.506 R.507 R.508 R.509 R.510 R.511 R.512 R.513 R.514 R.515 R.516 R.517 R.518 R.519 R.520 R.521 R.522 R.523 R.524 R.525 R.526 R.527 R.528 R.529 R.530 R.531 R.532 R.533 R.534 R.535 R.536 R.537 R.538 R.539 R.540 R.541 R.542 R.543 R.544 R.545 R.546 R.547 R.548 R.549 R.550 R.551 R.552 R.553 R.554 R.555 R.556 R.557 R.558 R.559 R.560 R.561 R.562 R.563 R.564 R.565 R.566 R.567 R.568 R.569 R.570 R.571 R.572 R.573 R.574 R.575 R.576 R.577 R.578 R.579 R.580 R.581 R.582 R.583 R.584 R.585 R.586 R.587 R.588 R.589 R.590 R.591 R.592 R.593 R.594 R.595 R.596 R.597 R.598 R.599 R.600 R.601 R.602 R.603 R.604 R.605 R.606 R.607 R.608 R.609 R.610 R.611 R.612 R.613 R.614 R.615 R.616 R.617 R.618 R.619 R.620 R.621 R.622 R.623 R.624 R.625 R.626 R.627 R.628 R.629 R.630 R.631 R.632 R.633 R.634 R.635 R.636 R.637 R.638 R.639 R.640 R.641 R.642 R.643 R.644 R.645 R.646 R.647 R.648 R.649 R.650 R.651 R.652 R.653 R.654 R.655 R.656 R.657 R.658 R.659 R.660 R.661 R.662 R.663 R.664 R.665 R.666 R.667 R.668 R.669 R.670 R.671 R.672 R.673 R.674 R.675 R.676 R.677 R.678 R.679 R.680 R.681 R.682 R.683 R.684 R.685 R.686 R.687 R.688 R.689 R.690 R.691 R.692 R.693 R.694 R.695 R.696 R.697 R.698 R.699 R.700 R.701 R.702 R.703 R.704 R.705 R.706 R.707 R.708 R.709 R.710 R.711 R.712 R.713 R.714 R.715 R.716 R.717 R.718 R.719 R.720 R.721 R.722 R.723 R.724 R.725 R.726 R.727 R.728 R.729 R.730 R.731 R.732 R.733 R.734 R.735 R.736 R.737 R.738 R.739 R.740 R.741 R.742 R.743 R.744 R.745 R.746 R.747 R.748 R.749 R.750 R.751 R.752 R.753 R.754 R.755 R.756 R.757 R.758 R.759 R.760 R.761 R.762 R.763 R.764 R.765 R.766 R.767 R.768 R.769 R.770 R.771 R.772 R.773 R.774 R.775 R.776 R.777 R.778 R.779 R.780 R.781 R.782 R.783 R.784 R.785 R.786 R.787 R.788 R.789 R.790 R.791 R.792 R.793 R.794 R.795 R.796 R.797 R.798 R.799 R.800 R.801 R.802 R.803 R.804 R.805 R.806 R.807 R.808 R.809 R.810 R.811 R.812 R.813 R.814 R.815 R.816 R.817 R.818 R.819 R.820 R.821 R.822 R.823 R.824 R.825 R.826 R.827 R.828 R.829 R.830 R.831 R.832 R.833 R.834 R.835 R.836 R.837 R.838 R.839 R.840 R.841 R.842 R.843 R.844 R.845 R.846 R.847 R.848 R.849 R.850 R.851 R.852 R.853 R.854 R.855 R.856 R.857 R.858 R.859 R.860 R.861 R.862 R.863 R.864 R.865 R.866 R.867 R.868 R.869 R.870 R.871 R.872 R.873 R.874 R.875 R.876 R.877 R.878 R.879 R.880 R.881 R.882 R.883 R.884 R.885 R.886 R.887 R.888 R.889 R.890 R.891 R.892 R.893 R.894 R.895 R.896 R.897 R.898 R.899 R.900 R.901 R.902 R.903 R.904 R.905 R.906 R.907 R.908 R.909 R.910 R.911 R.912 R.913 R.914 R.915 R.916 R.917 R.918 R.919 R.920 R.921 R.922 R.923 R.924 R.925 R.926 R.927 R.928 R.929 R.930 R.931 R.932 R.933 R.934 R.935 R.936 R.937 R.938 R.939 R.940 R.941 R.942 R.943 R.944 R.945 R.946 R.947 R.948 R.949 R.950 R.951 R.952 R.953 R.954 R.955 R.956 R.957 R.958 R.959 R.960 R.961 R.962 R.963 R.964 R.965 R.966 R.967 R.968 R.969 R.970 R.971 R.972 R.973 R.974 R.975 R.976 R.977 R.978 R.979 R.980 R.981 R.982 R.983 R.984 R.985 R.986 R.987 R.988 R.989 R.990 R.991 R.992 R.993 R.994 R.995 R.996 R.997 R.998 R.999 R.1000

Abbildung 4: Berechnungsbeispiel für zwei 10 kW Plattenwärmetauscher - beispielhaft dargestellt für die WRG aus Grauwasser (links) und für eine Solarthermieanlage (rechts).

Quelle: <http://www.edelstahl-waermetauscher.de/berechnung/berechnung.htm>

Die Entscheidung fiel vorerst auf ein System – dargestellt in Abbildung 5 - welches das durchmischte Grauwasser kontinuierlich abkühlt und die dabei gewonnene Wärme sorgfältig in einen Schichtenspeicher einlagert. Bei Warmwasserbedarf gibt der Schichtenspeicher seine Wärme ohne weitere Pumpen oder Volumenstromregelung relativ gleichmäßig an das kalte Trinkwasser ab. Das hier dargestellte System erfüllt die nach DIN EN 1717 geforderte Systemtrennung zwischen der Trinkwasserleitung mit der Gefährdungsklasse 1 (GK1) und dem Grauwasser (GK5) und erreicht die max. „erwünschte“ Temperatur von 25°C.

Später wurde das anfallende Grauwasser im Batchbetrieb portionsweise abgekühlt und die Energie je nach Austrittstemperatur passgenau in den Pufferspeicher eingeschichtet.

Mit niedrigen Temperaturdifferenzen zu arbeiten, hat allerdings auch zur Folge, dass der Wärmetransport vom Abwasser über das Zwischenmedium zum Speicher entsprechend langsam vonstatten geht.

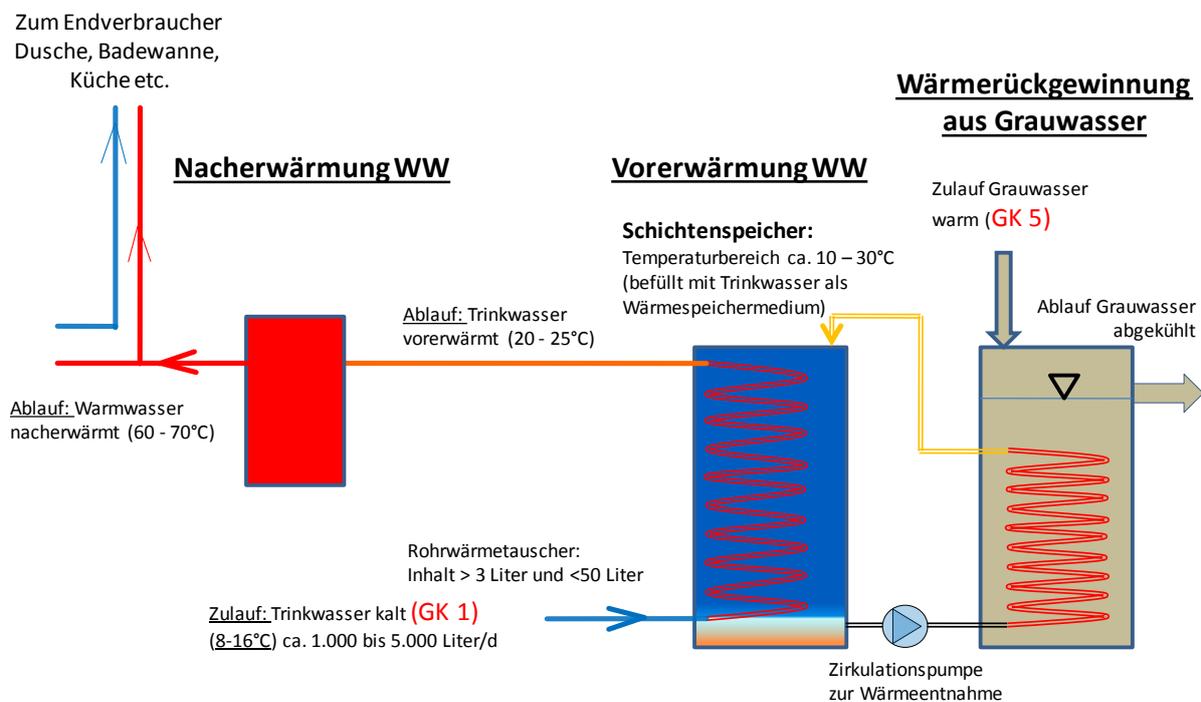


Abbildung 5: Wärmerückgewinnung aus Grauwasser zur Vorerwärmung von Trinkwasser.

## Wärmeleitung und -übertragung

Die übertragene Wärmeleistung ist:

- proportional zu Fläche, Wärmeleitfähigkeit und Temperaturdifferenz sowie
- umgekehrt proportional zur Materialdicke.

Die durch Wärmeleitung übertragene Wärmeleistung  $\dot{Q}$  wird durch das Fouriersche Gesetz beschrieben, das für den vereinfachten Fall eines festen Körpers mit zwei parallelen Wandflächen lautet:

$$\dot{Q} = \lambda \cdot A \cdot \frac{T_{W1} - T_{W2}}{d}$$

Einheit für  $\dot{Q}$  ist Watt (W)

Hierbei stehen die einzelnen Formelzeichen für folgende Größen:

- $T_{W1}$ : Temperatur der wärmeren Wandoberfläche
- $T_{W2}$ : Temperatur der kälteren Wandoberfläche
- $A$ : Fläche, durch die die Wärme strömt
- $\lambda$ : Wärmeleitfähigkeit (temperaturabhängige Stoffgröße)
- $d$ : Dicke des Körpers, gemessen von Wand zu Wand

**Tabelle 4:** Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe.

Stoffe	Wärmeleitfähigkeit in W/(m*K)
Silber	429
Kupfer, rein	401
Stahl unlegiert	48 ... 58
Stahl niedrig legiert, ferristisch (z. B. 42CrMo4	42
Stahl hoch legiert	15
Chromstahl 1400	30
Wasser	0,56
Wärmeleitpaste	4 ... 11,2
Polyethylen	0,33 ... 0,57

Der Wärmestrom oder Wärmefluss  $\dot{Q}$ , ist eine physikalische Größe zur quantitativen Beschreibung von Wärmeübertragungsvorgängen. Er ist definiert als die in der Zeit  $\delta t$  übertragene Wärmeenergie  $\delta Q$ : [1]

$$I = \dot{Q} = \frac{\delta Q}{\delta t}$$

Der Wärmestrom  $\dot{Q}$  ist eine Wärmeleistung und wird in Watt angegeben:

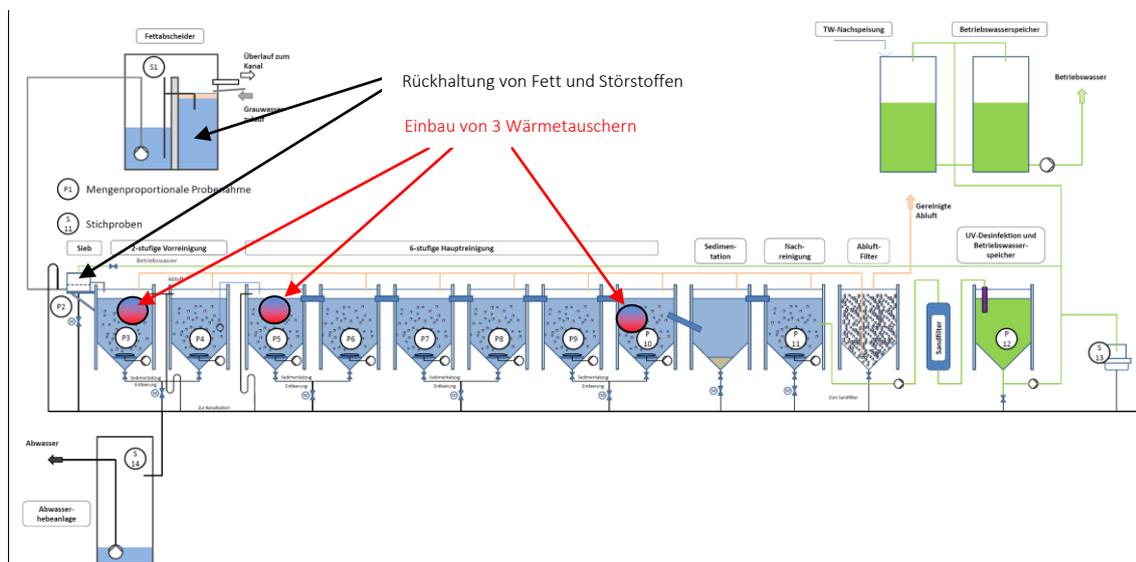
$$W = \frac{J}{s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3}$$

Er kann nicht direkt gemessen werden und wird deshalb durch Temperaturdifferenz- und Volumenstrommessungen bestimmt. Er ist ferner proportional zu der materialabhängigen Wärmeleitfähigkeit.

### 3. Ergebnisse

#### *Untersuchung von Wärmetauscher in unterschiedlichen Grauwasserqualitäten*

In einer bestehenden Grauwasserrecyclinganlage (Berlin-Kreuzberg - Block 6) wird das insgesamt verfügbare Grauwasser - erstmalig auch das stark verschmutzte aus den Waschmaschinen und Küchen - eingeleitet und aufbereitet<sup>13</sup>. Zu Testzwecken wurden hier drei Wärmetauscher mit je 0,66 m<sup>2</sup> Oberfläche installiert und über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr regelmäßig auf deren Leistungsfähigkeit (Wärmeübertragung) untersucht.



**Abbildung 6:** Fließbild Block 6 mit den Einbaupositionen der drei zu Versuchszwecken eingebauten Wärmetauscher.

Ein Großteil der Fette und Störstoffe werden im Pumpschacht bereits mittels Trennmur und im Anlagenzulauf zur Grauwasserrecyclinganlage über ein Sieb ferngehalten.

<sup>13</sup> Projektinfos siehe: <http://www.roofwaterfarm.com/>

Bei der Materialauswahl für den Wärmetauscher wurde aus Korrosionsschutzgründen - trotz der wesentlich schlechteren Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu Kupfer - Edelstahl gewählt (siehe Tabelle 4 und Abbildung 7). Zur Steuerung der Versuche sowie zur Datenerhebung im Sekundenbereich wurde ein Messkoffer gebaut und betrieben.



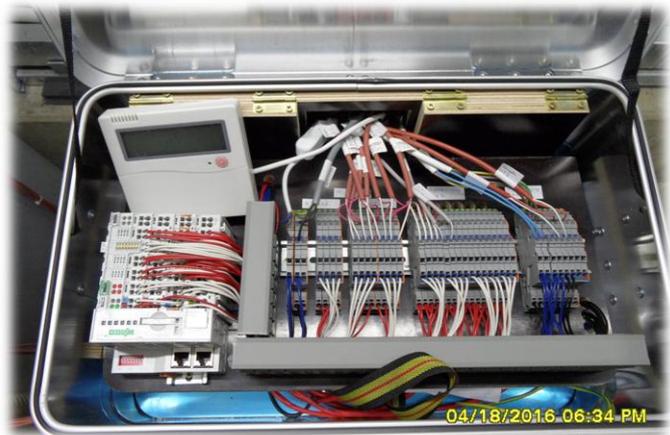
„Korrosionsschäden an einem Kupferrohr, welches ca. 3 Jahre in Kontakt mit zulaufendem Grauwasser und feuchter Luft stand, zeigen eindrucksvoll, dass Kupfer ein ungeeigneter Werkstoff ist.“



„Grauwasser ist stark korrosiv – bereits nach wenigen Wochen sind deutliche Korrosionsspuren erkennbar, insbesondere an dem WT in Stufe 1 und 3.“



„Einer von drei identischen Wärmetauschern vor dem Einbau in verschiedenen Grauwasserstufen.“



„Der Messkoffer zur Aufnahme der Temperatur- und Durchflusswerte.“



„Der Wärmetauscher ist im stark belastetem Grauwasser (Stufe 1) nach 8 Monaten Betriebszeit ohne Wartung weniger verschmutzt als der in Stufe 8 (rechtes Foto).“



„Wärmetauscher im niedrig belasteten Grauwasser (Stufe 8) nach 8 Monaten Betriebszeit ohne Wartung.“

**Abbildung 7:** Fotos zu den Versuchen mit den Wärmetauschern vor und während des Versuchsbetriebs.

## Wärmedurchgangskoeffizient

Der Wärmedurchgangskoeffizient – auch U-Wert (früher k-Wert) genannt - ist ein Maß für den Wärmedurchgang von einem Fluid durch einen festen Körper in ein zweites Fluid aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen beiden Fluiden vorstatten geht. Er wird in ( $\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$ ) angegeben.

Es handelt sich somit um einen spezifischen Kennwert eines Bauteils, der im Wesentlichen durch die Wärmeleitfähigkeit und Dicke der verwendeten Materialien, aber auch durch die Wärmestrahlung und Konvektion an den Oberflächen bestimmt wird.

- Je höher der Wärmedurchgangskoeffizient, desto besser ist der Wärmetransport
- Je niedriger der Wärmedurchgangskoeffizient, (= je höher der Wärmedurchgangswiderstand), desto besser ist die Wärmedämmeigenschaft.

Für eine Messung des Wärmedurchgangskoeffizienten sind stationäre Temperaturen wichtig, damit die Wärmespeicherfähigkeit der Materialien bei Temperaturänderungen das Messergebnis nicht verfälscht.

Ziel der Untersuchung war es herauszufinden, ob bzw. in welchem Rahmen sich der Wärmedurchgangskoeffizient in den unterschiedlich belasteten Abwasserumgebungen im Laufe der Zeit ändert. Die drei Wärmetauscher, die versuchsweise über 15 Monate eingebracht wurden, hatten eine wirksame Wärmetauscheroberfläche von jeweils  $0,661 \text{ m}^2$  (Abbildung 7).

Die folgende Abbildung 8 zeigt die Veränderung des Wärmedurchgangskoeffizienten am Beispiel von 2 identischen Wärmetauschern, die jeweils mehr als 12 Monate an verschiedenen Stellen der Grauwasserrecyclinganlage betrieben wurden.

In Stufe 1 ist die organische Belastung des Grauwassers deutlich höher als in Stufe 3, die zudem weniger intensiv belüftet wird. Trotz der höheren Abwasserbelastung wird in Stufe 1 durchweg ein besserer Wärmedurchgangskoeffizient gemessen. Zu Beginn der Untersuchungen  $1,88 \text{ kW}/\text{m}^2/\text{K}$ , fällt er innerhalb von einem Monat auf  $1,3 - 1,4$  ab und bleibt danach über 6 Monate unverändert. Nach dem Ausbau, der Reinigung und dem Wiedereinbau wurden wie beim neuen Wärmetauscher  $1,86 \text{ kW}/\text{m}^2/\text{K}$  ermittelt und 6 Monate später zum Ende der Untersuchung erneut  $1,4 \text{ kW}/\text{m}^2/\text{K}$ .

Bei einer vergleichsweise niedrigen Turbulenz im Becken 8 konnte sich selbst im weitgehend gereinigten Grauwasser ein stärkerer Biofilm ausbilden als im stärker verschmutzten Grauwasser mit deutlich höherer Turbulenz. Der U-Wert in Stufe 8 hat sich sogar bis auf  $0,6 \text{ W}/\text{m}^2/\text{k}$  gesenkt.

Die Wärmerückgewinnung von Grauwasser, welches auch Küchenabwässer und Waschmaschinen enthält und damit ein höheres Rückgewinnungspotenzial beinhaltet, ist prinzipiell nicht schwieriger, als wenn dafür nur niedrig belastetes Grauwasser verwendet wird. Beides ist mit vertretbarem Aufwand möglich und wird durch die Versuchsergebnisse in Stufe 1 belegt.

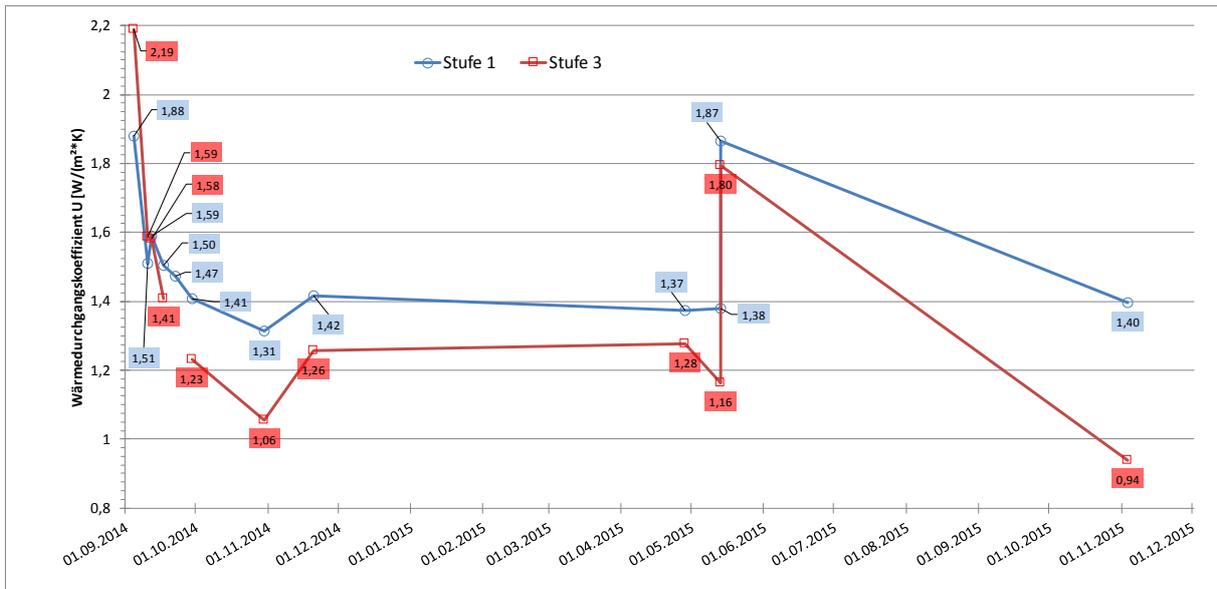


Abbildung 8: Wärmedurchgangskoeffizient im DN 20 Wellrohr (Volumenstrom Zwischenmedium jeweils 22 L/min) in Stufe 1 und Stufe 3 der biologischen Grauwasserreinigungsanlage.

Eine weitere Abhängigkeit des U-Werts - nämlich die vom Volumenstrom des Zwischenmediums - zeigt Abbildung 9.

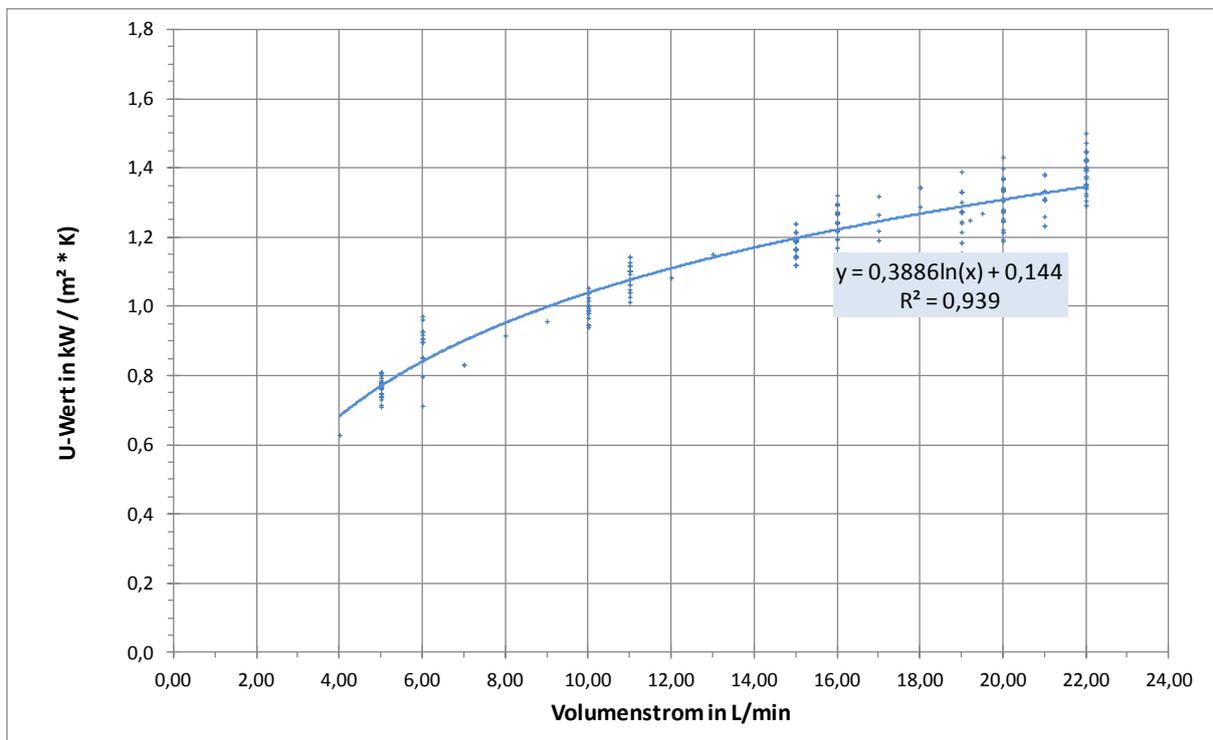


Abbildung 9: Abhängigkeit des U-Werts (Wellrohr DN 20) vom Volumenstrom des Zwischenmediums (gemessen am 28.04.2015 hier WT in Stufe 1; die unterschiedlichen U-Werte basieren auf die Volumenströmmessung, die mit einem Wassermengenzähler mit einer 1 Liter Auflösung erfolgte).

Der Wärmedurchgangskoeffizient im System Grauwasser, wird außen maßgeblich von der Biofilmbesiedlung, die von der Turbulenz im Behälter beeinflusst wird und innen vom Volumenfluss des Zwischenmediums, bestimmt.

Das Verfahren des Wärmetauschers im durchströmten und stets vollgefüllten Pufferbehälter kann nur bedingt zum Erfolg führen, weil das neu hinzufließende warme Grauwasser mit dem abgekühlten vermischt und dadurch abgekühlt wird.

Den Pufferbehälter nach der Wärmeentnahme jedes Mal zu entleeren bringt Vorteile, allerdings ist hierbei nicht immer zu vermeiden, dass gerade teilweise abgekühltes Grauwasser mit frischem, warmen vermischt wird, was zur Folge hat, dass sich eine Mischtemperatur einstellt, die u. U. deutlich niedriger liegt als die (höhere) Zulauftemperatur.

Der nächste Schritt besteht darin, zu vermeiden, dass sich bereits abgekühltes Grauwasser mit frischem (warmen) Grauwasser vermischen kann. Beide Prozesse wurden entkoppelt, der Wärmeentzug erfolgt seitdem sequentiell, was zur Folge hat, dass der Wärmespeicher effizienter beladen werden kann. In der oberen Schicht des Wärmespeichers können etwas höhere Temperaturniveaus erreicht werden.

## Wärmepufferspeicher

Konventionell erhältliche Wärmepufferspeicher sind darauf ausgelegt, dass sie mit hohen Temperaturen - deutlich über 50°C - geladen werden. Bei hohen Temperaturdifferenzen können Wärmetauscher deutlich kompakter ausfallen als dort, wo nur 2 – 20 K zur Verfügung stehen. Ähnlich verhält es sich mit der Einschichtung, die bei größeren Temperatur- und Dichteunterschieden einfacher zu erreichen ist, als bei niedrigen (Abbildung 10).

Soll kaltes Wasser vorerwärmt werden und eine hohe Ausnutzung des vorhandenen Wärmepotenzials stattfinden, sollte sich der oberste Speicherbereich so wenig und der unterste so stark wie möglich abkühlen. Eine ansonsten gleichmäßige Wärmeentnahme über die gesamte Speicherhöhe ist anzustreben.

Temp. (°C)	D (kg/m <sup>3</sup> )
0	918
0	999,84
1	999,90
2	999,94
3	999,96
4	999,97
5	999,96
6	999,94
7	999,90
8	999,85
9	999,78
10	999,70
11	999,60
12	999,50
13	999,38
14	999,24
15	999,10
16	998,94
17	998,77
18	998,59
19	998,40
20	998,20
21	997,99
22	997,77
23	997,54
24	997,29
25	997,04
26	996,78
27	996,51
28	996,23
29	995,94
30	995,64
31	995,34
32	995,02
33	994,70
34	994,37
35	994,03
36	993,68
37	993,32
38	992,96
39	992,59
40	992,21
45	990,21
50	988,03
55	985,69
60	983,19
65	980,55
70	977,76
75	974,84
80	971,79
85	968,61
90	965,30
95	961,88
100	958,35

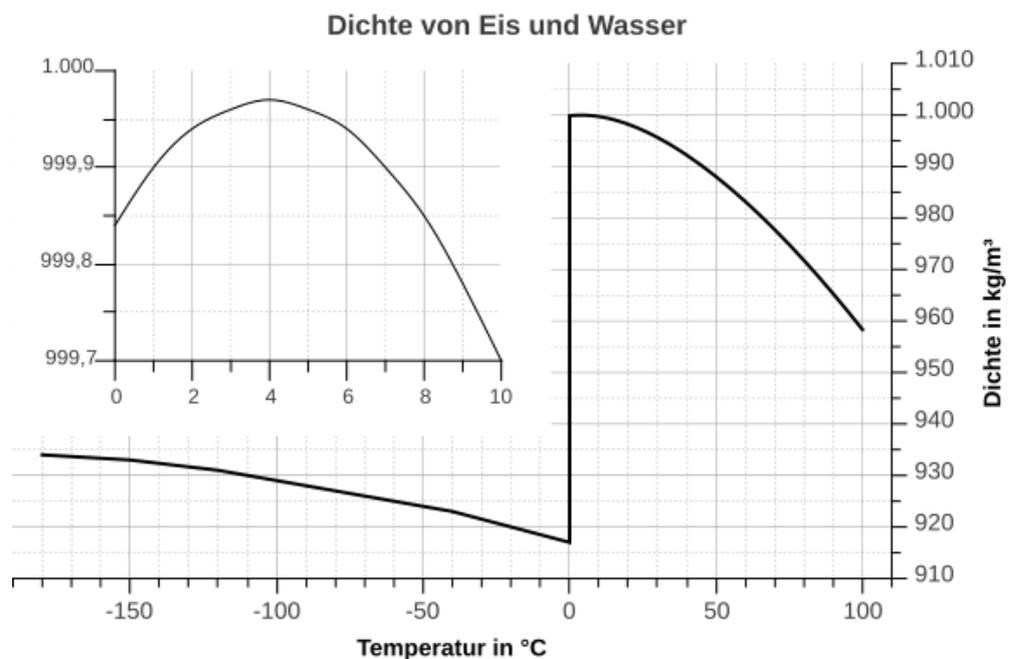
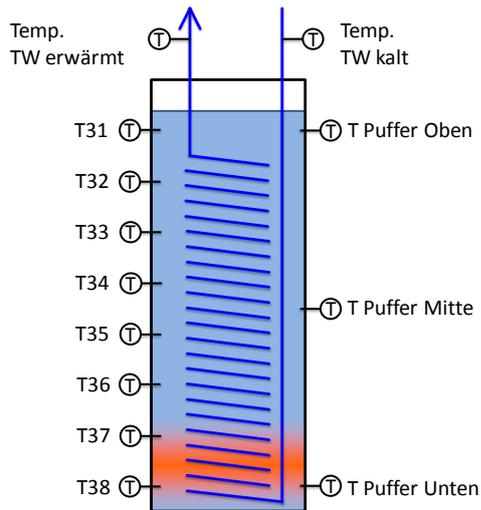


Abbildung 10: Dichte des Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur.

Die Nutzung konventioneller Speicher wurde nach mehreren Tests verworfen, weil die Wärmeausbeuten zu niedrig erschienen. Es folgten mehrere Optimierungsschritte wobei, bei den Wärmetauschern stets Edelstahlwellrohr und verschiedene Wickeltechniken und im Speicher mehrere Temperatursensoren zum Einsatz kamen (Abbildung 11).

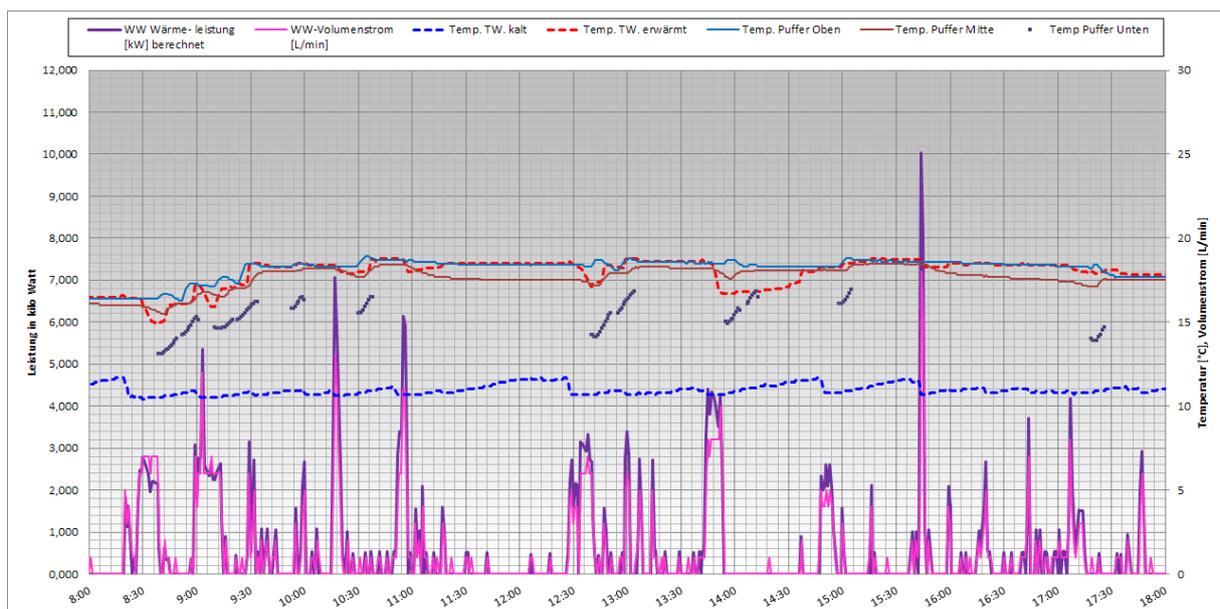
Eine besondere Herausforderung bestand in der richtigen Einschichtung der kälteren Grauwasseranteile, ohne dass diese dabei die Schichten mit den höheren Temperaturen negativ beeinflussen. Die einzelnen Optimierungsschritte waren erfolgreich, wie die nächsten Abbildungen zeigen, jedoch sind noch weitere Optimierungen möglich.



**Abbildung 11:** Messanordnung für die Untersuchungen an unterschiedlichen Wärmepufferspeichern.

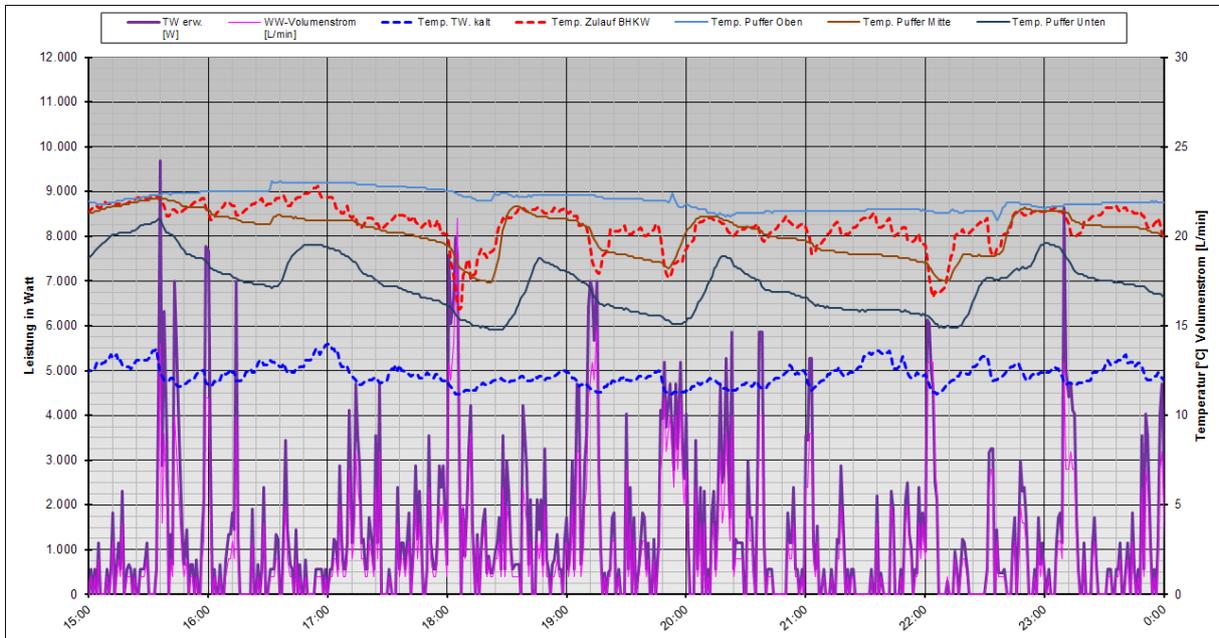
Abbildung 12 zeigt, dass sich die Wärmerückgewinnung unter Verwendung eines einfachen Pufferspeichers aus der Solartechnik - im Gegensatz zu den beiden folgenden Abbildungen - auf einem vergleichsweise niedrigen Temperaturniveau abspielt. Bei Kaltwassertemperaturen um 11°C erreicht das vorerwärmte Trinkwasser nicht das 20°C-Niveau. Vieles deutet auf eine unzureichende Schichtung. Die mittlere und obere Temperatur weichen nur geringfügig voneinander ab.

Bei höheren Wärmeentnahmen von kurzer Dauer (gegen 15:45) ist die Ausgangstemperatur nahe der oberen Speichertemperatur, während bei einer andauernden Entnahme (gegen 13:45) ein Abfall auf den mittleren Temperaturbereich aufgezeichnet wurde. Der Arbeitsbereich des Speichers beschränkt sich, wie in Abbildung 12 dargestellt, auf den Bereich zwischen 12,5 und 19°C.

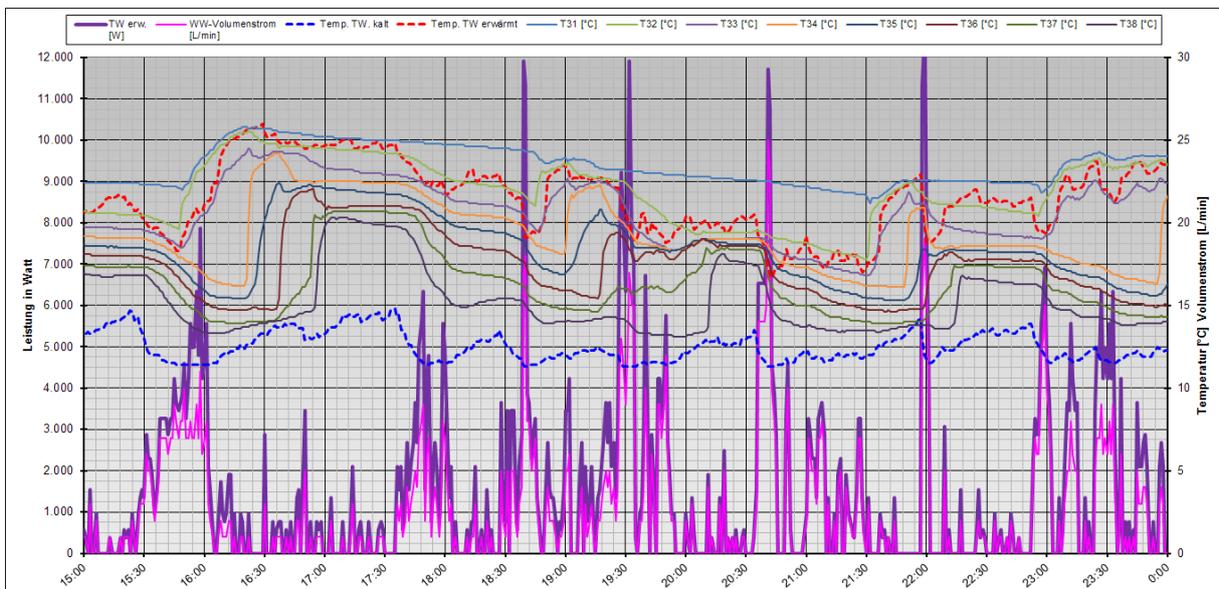


**Abbildung 12:** Betriebsergebnisse eines konventionellen Pufferspeichers (aus der Solartechnik), betrieben in der Marienburger Straße 31A.

Im Vergleich zu Abbildung 12 stellen sich im ersten Optimierungsschritt (Abbildung 13) höhere Speichertemperaturen ein und die einzelnen Temperaturzonen sind besser ausgeprägt. Der Arbeitsbereich liegt zwischen 15 und 22,5 °C. Im weiteren Vergleich mit Abbildung 13 zeigt sich, dass der nochmals optimierte Speicher einen Arbeitsbereich von 13 bis 26°C erreicht.



**Abbildung 13:** Betriebsergebnisse eines Wärmepufferspeichers mit „normaler“ Einschichtung (1. Optimierungsschritt).



**Abbildung 14:** Betriebsergebnisse des optimierten Wärmepufferspeichers im Praxisbetrieb.

Abbildung 14 zeigt die Zapfmengen-, Heizleistungs- und Temperaturverläufe des Wärmepufferspeichers (letzter Stand der Optimierung) mit seinen Lade- und Entladevorgängen im Praxisbetrieb bei einer ein-minütigen Auflösung der Messwerte.

Um 15:00 beginnend wird der Puffer entladen - erst langsam und ab 15:30 stärker - ab 15:45 setzt dann parallel zur Entladung auch die Beladung ein. Durch die Warmwasserzapfungen sinken die Kurven der 8 Temperatursensoren im Pufferbehälter sowie die Zu- und Ablauftemperaturen des Wärmetauschers gleichmäßig.

Deutlich erkennbar ist, wie die zonierte Beladung abläuft. Zuerst steigen die drei Kurven T31, T32 und T33 steil an. Die beiden obersten Sensoren zeigen Temperaturen leicht über der 25°C Linie. Etwa eine halbe Stunde später - gegen 16:20 - ist ein sehr starker Temperaturanstieg des weiter unten liegenden Sensors T34 zu erkennen. Mit zeitlichem Abstand folgen dann T35 – T38. Kurz vor 17:00 war der untere Speicherbereich fast auf Kaltwassertemperaturniveau entladen und erreicht dann kurze Zeit später die 20°C Temperaturlinie. Der Speicher ist nahezu durchgeladen.

Bei kleinen Zapfströmen verlässt das vorgewärmte Trinkwasser den Wärmetauscher mit hohen Temperaturen um 25°C. Die Speicherentladung ist dann wieder durch die nahezu parallel verlaufenden Temperaturverläufe zu beobachten, bei hohen WW-Volumenströmen kann die Warmwasser Austrittstemperatur auf ca. 20°C abfallen.

Abbildung 15 zeigt die Betriebsergebnisse, gewonnen am optimierten Pufferspeicher. Im Abschnitt A und A bis B, dass bei einem teilweise ausgekühlten Wärmespeicher (Temperatursensoren T31 bis T 34 nahe der Trinkwassertemperatur) der Ablauf des Wärmetauschers bei kleinen Zapfmengen nahe der augenblicklichen Speicherhöchsttemperatur liegt. Die Speicherladung beginnt um 13:45 im mittleren Bereich um T34, gegen 16:15 wird schließlich der untere Speicherbereich um T38 geladen. Die Grafik zeigt ferner, wie konstant die Entladung über den gesamten Speicherbereich ab 17:00 erfolgt. Bei hohen Warmwasserzapfmengen werden zwar hohe Leistungen erbracht, es werden aber (noch) keine hohen Ausgangstemperaturen erreicht, die kurzzeitig sogar bis unter 15°C sinken können. Ab 20:30 wird nur noch wenig Warmwasser gezapft. Bei stagnierendem Wasser erwärmen sich die Temperaturfühler in den Tauchhülsen.

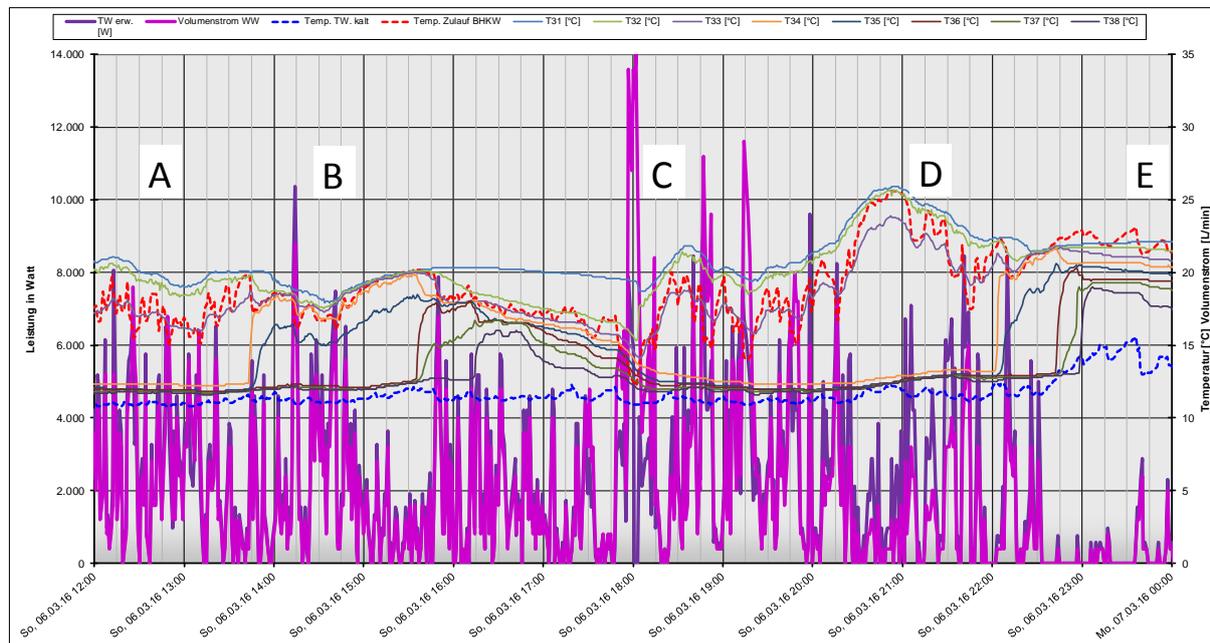
Weitere Auswertungen und Simulationen haben gezeigt, dass mit einem größeren Pufferspeicher höhere Wärmeernten erzielt werden könnten. Ein größerer Pufferspeicher war jedoch im Bestand mit einem dafür vertretbaren Aufwand nicht nachrüstbar. Eine höhere Wärmetauscheroberfläche würde bei (anhaltend) höheren Zapfvolumenströmen höhere Endtemperaturen im Ablauf der WRG erzielen.

Allgemein gültige Bemessungszahlen für eine optimale Puffergrößendimensionierung können ermittelt werden, sobald mehrere derartige Anlagen mit unterschiedlichem Nutzerverhalten im Betrieb sind und die Praxiserfahrungen systematisch ausgewertet wurden.

Eine Vorerwärmung über 25°C wurde vorerst noch nicht in Erwägung gezogen, weil sonst ggf. die Legionellenproblematik zunimmt. Nach DIN 1988 – 200 sind Trinkwasserleitungen so zu dämmen, dass eine Erwärmung auf > 25°C vermieden wird. Solange die Vorerwärmung unter 25 °C bleibt, sind dementsprechend die Installationsvorschriften für Kaltwasser erfüllt.

Legionellenuntersuchungen in zwei Häusern, in denen seit mehreren Jahren eine Grauwasserrecyclinganlage mit vorgeschaltete Wärmerückgewinnung betrieben wird, haben

ergeben, dass sowohl an den Wärmetauschern und an allen anderen Probenahmestellen kein Legionellenproblem aufgetreten ist.



**Abbildung 15:** Darstellung der Be- und Entladung des neuen Pufferspeichers über 12 h.  
 Im Betrachtungszeitraum wurde der Pufferspeicher mit 29,96 kWh geladen und mit 25,28 kWh entladen. Die Tagesbilanz für den 06.03.2016 betrug die Pufferladung 42,63 kWh und die -entladung 40,21 kWh. Der Grauwasseranfall betrug 3.795 Liter und der Warmwasserbedarf 5.268 Liter.

## Wärmepumpe

Der Einsatz von Wärmepumpen (WP) soll dazu führen, das Grauwasser tiefer abzukühlen als es durch Wärmetauscher allein möglich ist und dadurch mehr Energie zu ernten.

Neben Investitionskosten sind es natürlich auch die laufenden Betriebskosten und aus Umweltsicht die damit verbundenen Primärenergieeinsparungen und CO<sub>2</sub> Reduktionen sowie die Möglichkeit für den Betrieb auf Solarstrom zurückzugreifen. Für eine vergleichende Bewertung der einzelnen Optionen wäre zuvor eine entsprechende Anzahl von belastbaren Feldversuche - jeweils unter Praxisbedingungen - vonnöten.



Abbildung 16: Wärmepumpe mit Pufferspeicher (links) und Blick in den Wärmetauscher (rechts).

## Auswahl der Wärmepumpe

Mit Blick auf das Kaiserliche Postamt zielen erste Schätzungen darauf ab, dass täglich ca. 1.500 Liter Heißwasser abgefordert werden, was einem Wärmebedarf von ca. 90 kWh entspricht. Für die vorerst orientierenden Versuche mit einer Wärmepumpe wurde eine Wasser/Wasser Wärmepumpe mit vergleichsweise niedriger Wärmeleistung gesucht und gefunden (Abbildung 16). Seitens der bekannten namhaften Hersteller werden Wärmepumpen ab ca. 6 kW Heizleistung angeboten. Erprobt wurde eine Sole-Wärmepumpe MDS 10D mit 3,5 kW Heizleistung (Tabelle 5).

Tabelle 5: Technische Daten zur Wärmepumpe (Angaben des Händlers)<sup>14</sup>.

<b>Hersteller:</b>	Meeting	<b>Max. Vorlauftemperatur.:</b>	55°C
<b>Modell:</b>	MDS10D	<b>Kältemittel:</b>	R417A
<b>Stromanschluss:</b>	230V/50 Hz	<b>Kompressor:</b>	Panasonic
<b>Anzahl der Verdichter:</b>	1	<b>Verdichter Typ:</b>	scroll
<b>Wasservolumenstrom</b>	Min: 1.000 L/h	<b>Arbeitstemperatur:</b>	-20/+45 °C
<b>Max. Heizleistung</b>	3,5 kW	<b>Stromaufnahme:</b>	0,75 kW
<b>COP:</b>	Max 4,6	<b>Heißwassersproduktion:</b>	75 l/h
<b>Wasseranschlüsse:</b>	DN 20	<b>Abmessungen:</b>	657 x 557 x 765 mm
<b>Netto Gewicht:</b>	75 kg	<b>Geräuschpegel:</b>	50 dB

<sup>14</sup> [http://gondzik.de/index.php?cPath=1\\_29](http://gondzik.de/index.php?cPath=1_29)

Der Hersteller weist darauf hin, dass die Angaben zu Effizienz und Leistung mit dem Kältemittel R22 vom Hersteller ermittelt wurden und dass die Maschine mit dem Kältemittel R417A ausgerüstet wurde. Zu dem Wasservolumenstrom gab es in den Produktunterlagen unterschiedliche Angaben. Ferner geht daraus nicht hervor, auf welchen Wasservolumenstrom sich die Angabe bezieht. Die Tests wurden entsprechend dem Versuchsaufbau - dargestellt in Abbildung 17 - durchgeführt. Abbildung 18 zeigt, dass unterschiedliche Volumenströme im gewählten Bereich von 10 bis 30 Liter/min offensichtlich keinen großen Einfluss auf den COP der Anlage hat.

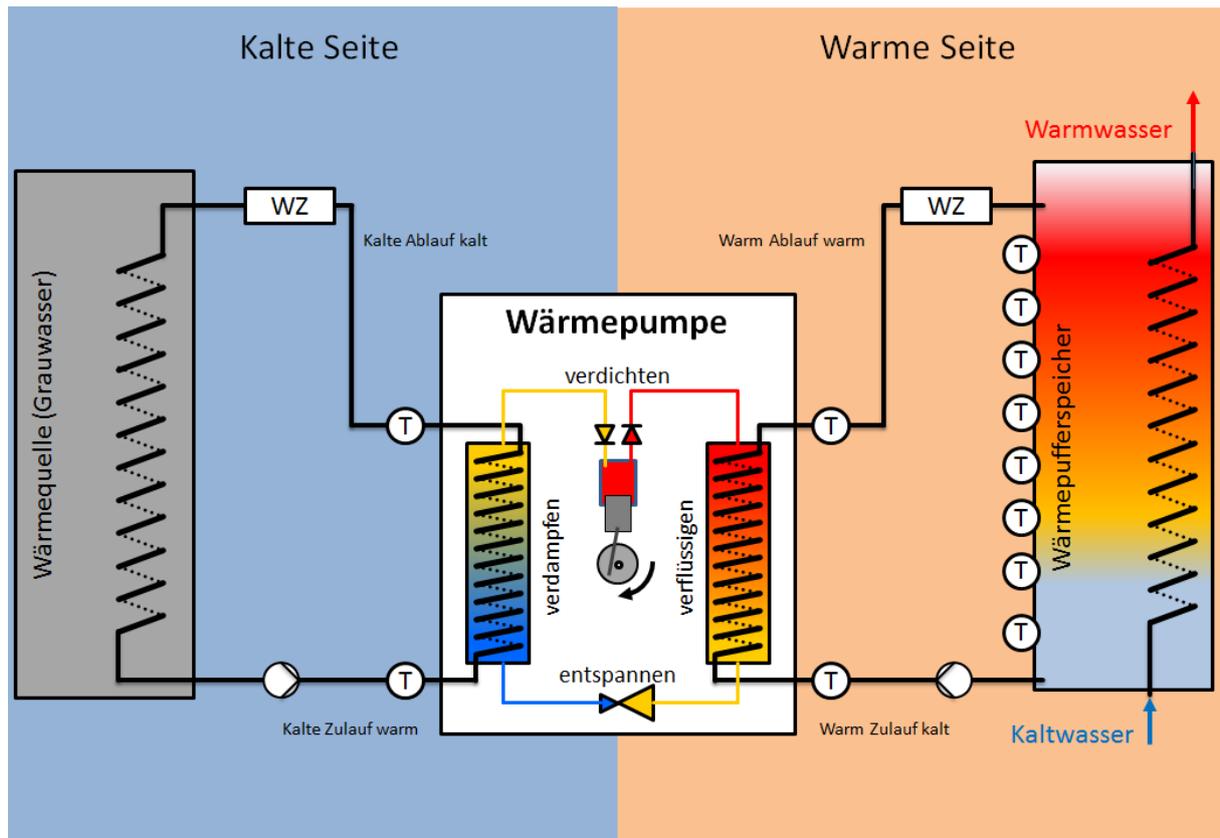
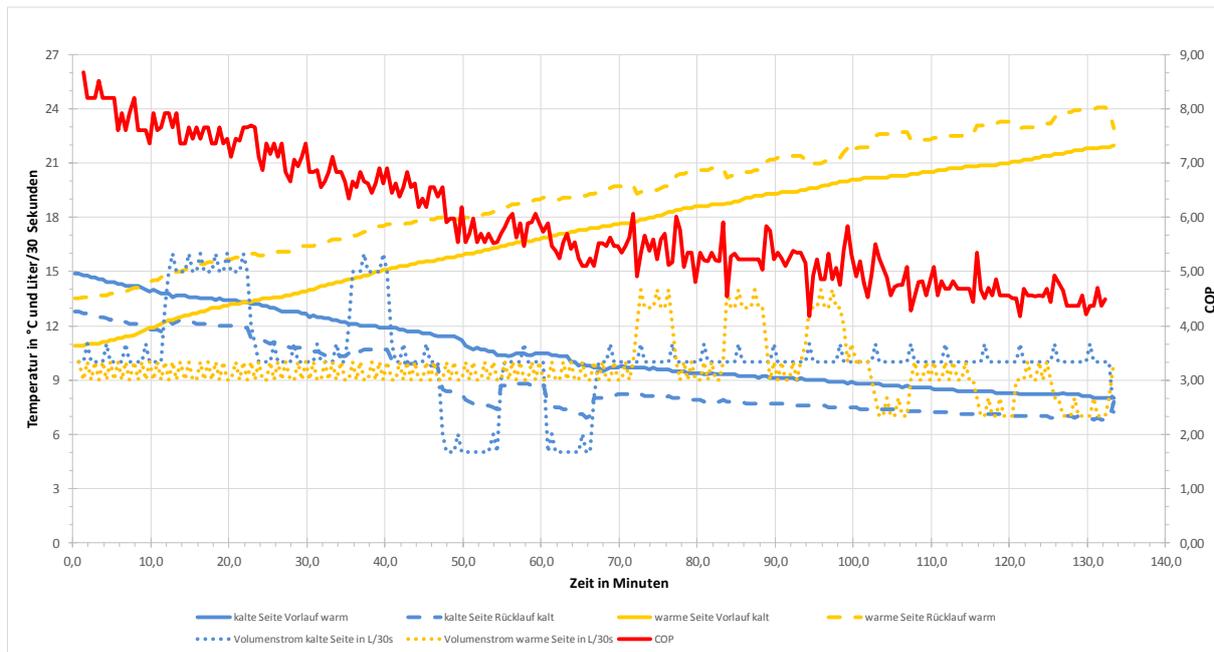


Abbildung 17: Einsatz der Wärmepumpe (Versuchsaufbau).

Während die Sole über **eine Erdbohrung betriebene Wärmepumpe** als Wärmequelle eine relativ konstante Wassertemperatur aufweist (bei 10 m Bohrtiefe ca. 10°C), sind die Temperaturdifferenzen bei Abkühlen des Grauwassers erheblich höher – der Arbeitsbereich kann beim Start bei ca. 35°C liegen und der Wärmepumpenbetrieb auf 5 – 10°C andauern. Er beginnt im warmen und endet im kalten Temperaturbereich.

Für einen energieeffizienten Betrieb ist auch für den Wärmepumpenbetrieb eine stabile Schichtung im Pufferbehälter förderlich, d. h. der Warmwasservolumenstrom soll sofern möglich so gewählt werden, dass die Schichtung stabil bleibt. Die folgende Abbildung 18 mit den im Raster von Sekunden erhobenen Daten zeigt, dass der COP sich im Bereich von 5 bis 15 L/30 Sekunden (600 – 1.800 Liter pro Minute) sich nicht wesentlich zu ändern scheint. Insofern wurde für die warme Seite ein eher niedriger Wasserfluss gewählt.



**Abbildung 18:** Betrieb der Wärmepumpe mit unterschiedlichen Wasservolumenströmen und niedrigen Temperaturdifferenzen.

Abbildung 19 zeigt einen derartigen Verlauf. 800 Liter Wasser mit einer Ausgangstemperatur von 14°C soll ein vergleichsweise kleines Volumen von 100 Litern, beginnend ebenfalls bei 14°C, auf eine hohe Endtemperatur um 50°C gebracht werden.

Beide Behälter sind ungedämmt und oben offen. Die Messwerte werden im 10-Sekundenraster gespeichert. Die Volumenströme wurden konstant gehalten; auf der kalten Seite 15,1 L/min und auf der warmen Seite 10,1 L/min. Die zwei Umwälzpumpen WILo-Stratos PICO 25/1-6 hatten zusammen eine Leistungsaufnahme von insgesamt 18 Watt, die Steuerung inkl. Messtechnik wurde mit ca. 7 Watt betrieben.

Mit steigender Temperatur auf der warmen Wärmepumpenseite sinkt der COP signifikant (zur Verdeutlichung wurde der COP in der Grafik mit dem Faktor 10 multipliziert und dargestellt). Ab einer Austrittstemperatur von 31°C liegt der COP unter 3. Der Wärmeentzug wird immer geringer, bei einer Austrittstemperatur von 40°C wird mit dieser Wärmepumpe gerade noch ein COP von 2 erreicht, bei 50°C ist er dann soweit gesunken, dass es bezüglich der Energiegewinnung schon bald kein Unterschied mehr zu einem elektrischen Heizstab gibt.

Aus den Prospekten einiger namhafter Wärmepumpenhersteller und auch aus dem Merkblatt *DWA-M 114 Energie aus Abwasser*<sup>15</sup> geht hervor, dass deren Wärmepumpen offensichtlich einen deutlich besseren Wirkungsgrad aufweisen. Während im DWA-M 114 bei einer Wärmequellentemperatur von 10°C und einer Wärmepumpenvorlauftemperatur von 50°C von einem COP von 3,7 ausgegangen wird, lagen wir hier mit der chinesischen Wärmepumpe deutlich unter 1,5.

<sup>15</sup> Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.: Merkblatt DWA-M 114 – Energie aus Abwasser – Wärme- und Ladeenergie, Hennef (2009).

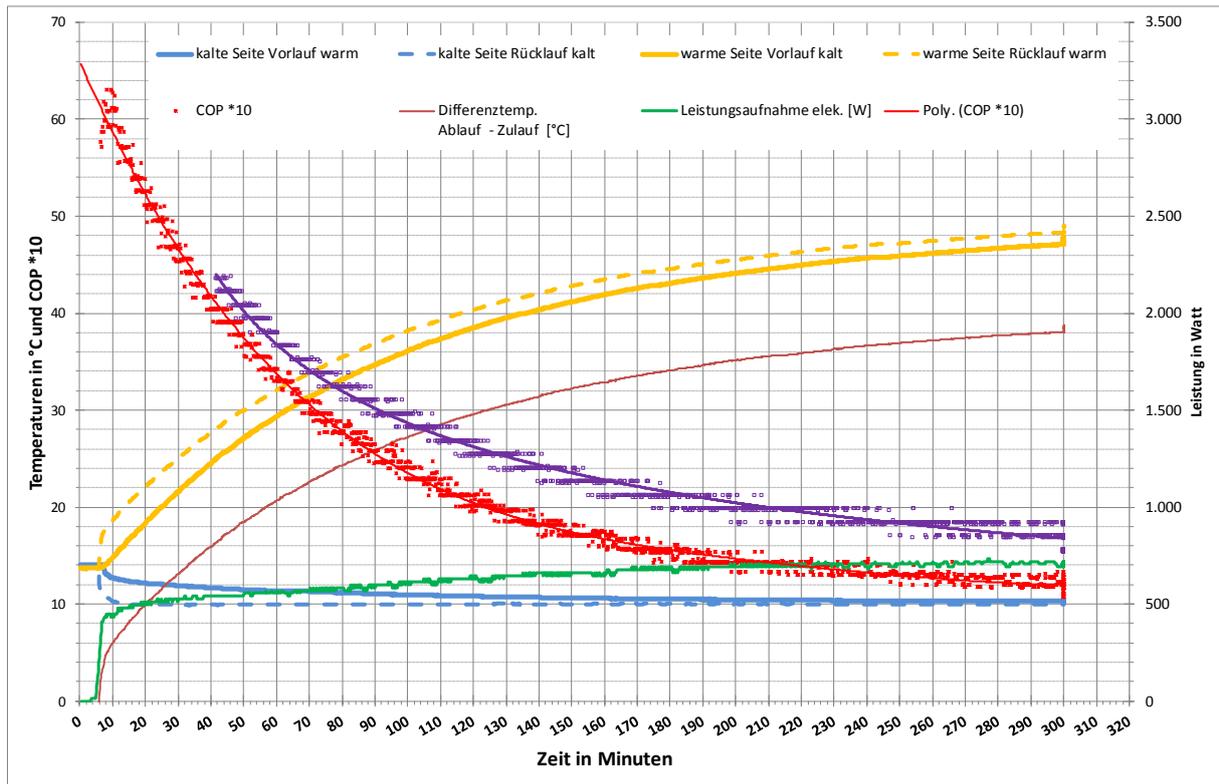


Abbildung 19: Veränderung des COP der Wärmepumpe bei sich ändernder Soletemperatur und Aufheizung eines Wärmepufferspeichers.

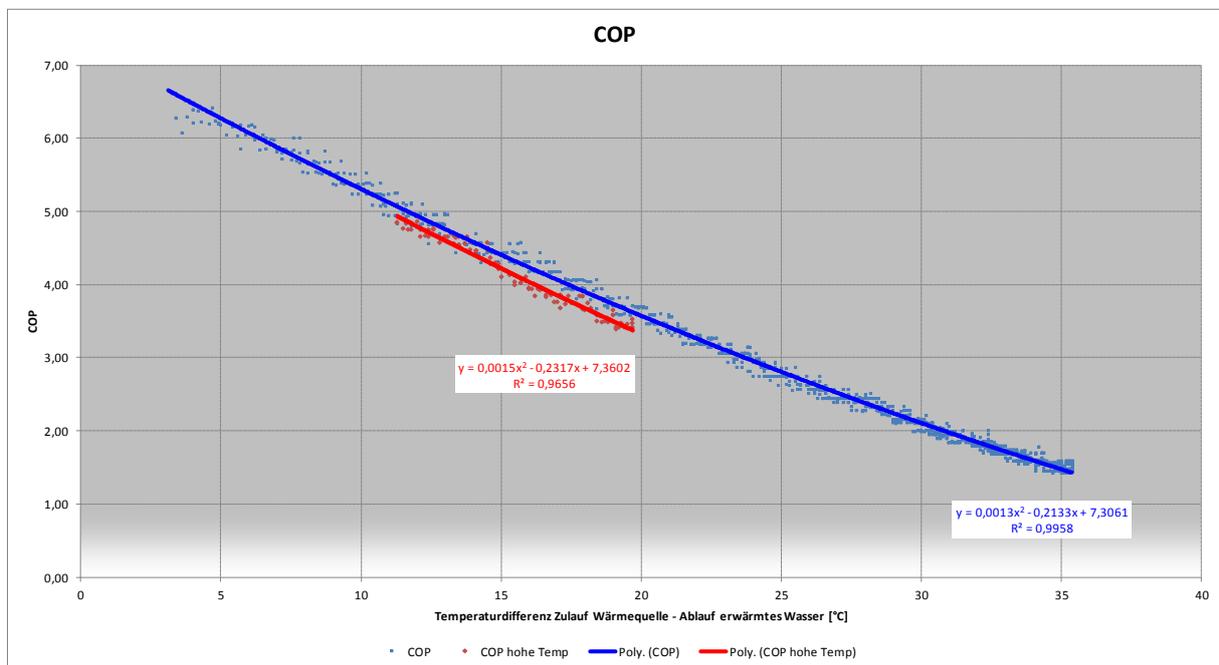


Abbildung 20: Veränderung der Leistungszahl in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz. Die rote Kurve wurde aufgenommen bei Grauwassertemperaturen zwischen 30 und 40 °C auf der kalten Seite und mit Austrittstemperaturen bis 53°C. Die blaue Kurve wurde bei 10 bis 30°C Grauwassertemperatur und Austrittstemperaturen auf der warmen Seite der Wärmepumpe um bis zu 45 °C ermittelt.

Abbildung 20 zeigt, dass mit der hier verwendeten Wärmepumpe, 45°C warmes Wasser bei einer Ausgangstemperatur von 10 °C auf der kalten Seite nur mit einem recht schlechten COP von etwa 1,5 erzeugt werden kann, oder mit einem COP von über 4, wenn dafür ca. 30 °C warmes Grauwasser zur Verfügung steht.

Dass Wärmepumpen anderer Hersteller offensichtlich mit einer deutlich besseren Effizienz zu betreiben sind, zeigt Abbildung 21. Bei einer Ausgangstemperatur von 30°C im Eingang auf der kalten Seite können die 45°C im Ausgang auf der warmen Seite scheinbar mit einem COP über 8 erreicht werden. Deutlich bessere COP wurden in dem von der DBU geförderten Projekt AZ 27080 ermittelt<sup>16</sup>. Bei 10°C auf der kalten Seite wurde unter Praxisbedingungen ein COP von 4,4 bestimmt.

- weishaupt - Montage- und Betriebsanleitung  
 WWP S 6 IDT - WWP S 11 IDT  
 2 Diagramme

## 2 Diagramme

### 2.1 Kennlinien WWP S 6 IDT

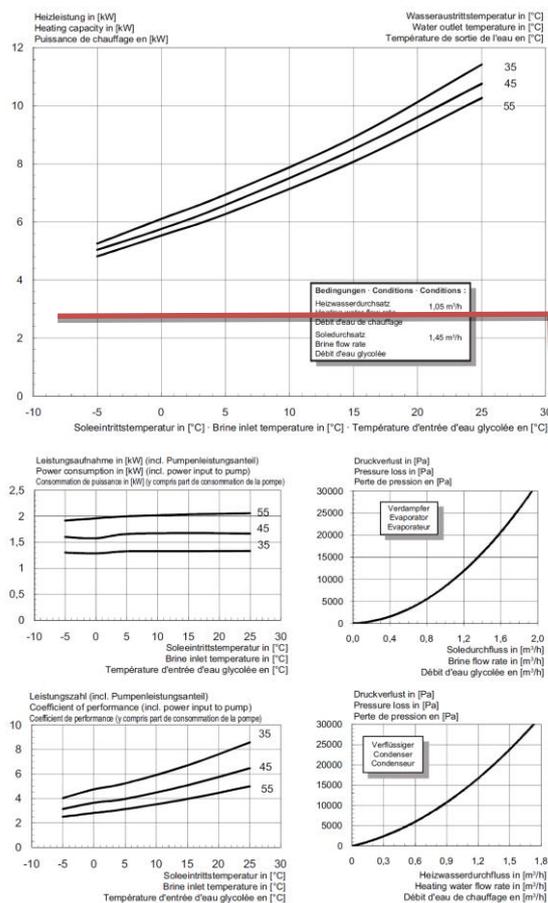


Abbildung 21: Kennlinienbeispiel einer anderen Wärmepumpe<sup>17</sup> (Herstellerangaben).

<sup>16</sup> EGS-plan: Bauvorhaben Terrot-Areal in Stuttgart-Bad Cannstatt. Wärmeversorgung mit Wärmepumpe und Abwasserkanal-Wärmetauscher. Gefördert durch die DBU, AZ 27080, Abschlussbericht S. 30, im Januar 2013.

<sup>17</sup> Wärmepumpe Sole-Wasser Innenaufstellung WWP S6 IDT-S11 IDT

siehe: <http://www.weishaupt.de/produkte/waermepumpen/waermequelle-erde/weishaupt-sole-wasser-waermepumpen/infomaterial>

### *Kaiserliches Postamt*

Liebevoll, hübsch und zweckmäßig gestaltete Seniorenresidenzen mit zugleich bezahlbaren Mieten zu schaffen, ist eine besondere Herausforderung für Planer und Investoren. Ziel ist es, durch moderne und effiziente Technologien, die Betriebskosten für **die Mieter** auf ein Minimum zu reduzieren.



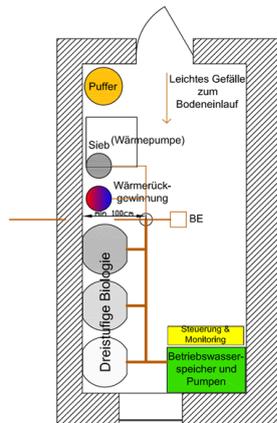
**Abbildung 22:** Außenaufnahmen vom sanierten und zur Seniorenresidenz ausgebautem Kaiserlichen Postamt in Leipzig.



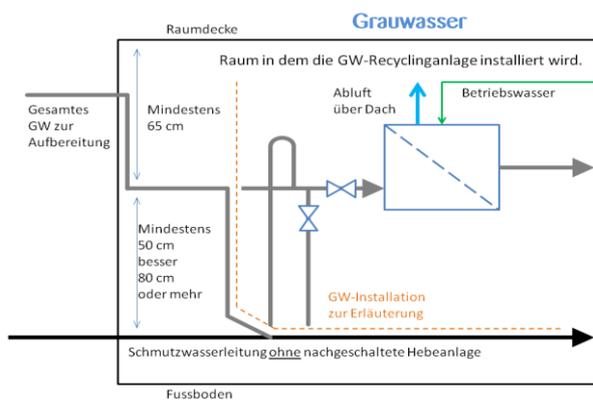
**Abbildung 23:** Innenaufnahmen vom sanierten und zur Seniorenresidenz ausgebautem Kaiserlichen Postamt in Leipzig (Gemeinschaftsraum und Bibliothek).

Ob im normalen Wohnungsbau oder wie hier bei der Sanierung des alten Kaiserlichen Postamts - nicht immer ist es möglich, Wasserrecycling und Wärmerückgewinnung sofort beim Neubau oder bei der Sanierung zu implementieren. Umso wichtiger ist es zumindest, die vorbereitenden Arbeiten so durchzuführen, dass diese Technologie zu einem späteren Zeitpunkt einfach, problemlos und mit nur geringen Mehrkosten nachrüstbar ist. Für die spätere Nachrüstung einer Grauwasseranlage und der Wärmerückgewinnung wurde ein Aufstellungsvorschlag erarbeitet und dieser baulich umgesetzt. Anzumerken ist, dass mit einem Planungsaufwand immer dann zu rechnen ist, wenn die Planer erstmalig mit dem Thema Grauwasserrecycling und Wärmerückgewinnung konfrontiert werden.

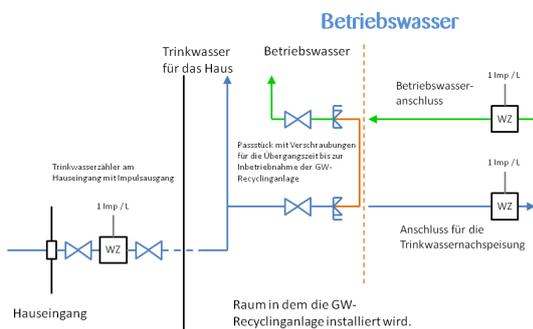
Die folgenden Abbildungen zeigen die zeichnerischen Vorgaben, und dokumentieren die Umsetzung des Kaiserlichen Postamts, wo der Aufstellungsraum **oberhalb** der Rückstauenebene liegt.



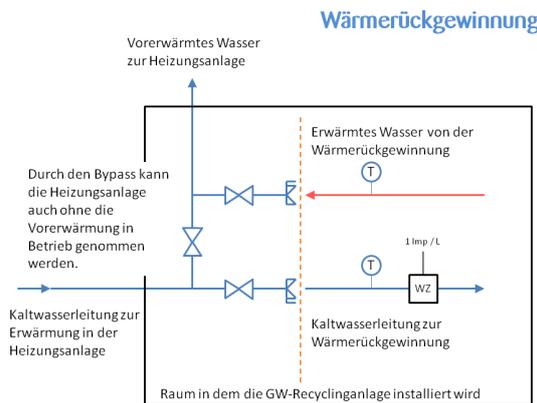
**Abbildung 24:** Aufstellungsplan zur Nachrüstung einer Grauwasserrecyclinganlage mit integrierter Wärmerückgewinnung. Auf dem Foto zu sehen: Die Raumentwässerung am tiefsten Punkt des Fußbodens und der Anschluss an die Kanalisation.



**Abbildung 25:** Vorbereitung der Grauwassererfassung. Vorerst wird das anfallende Grauwasser an einer Stelle in den Schmutzwasserkanal abgeschlagen, später wird die Leitung aufgetrennt und die Sieb-/Filtereinheit installiert.



**Abbildung 26:** Vorbereitung der Betriebswassereinspeisung. Vorerst wird der Betriebswasserbedarf mit Trinkwasser abgedeckt, später wird die trennbare Verbindung gelöst und an deren Stelle die Trinkwassernachspeisung und die Verbindung der Grauwasseranlage zum Betriebswassernetz hergestellt.



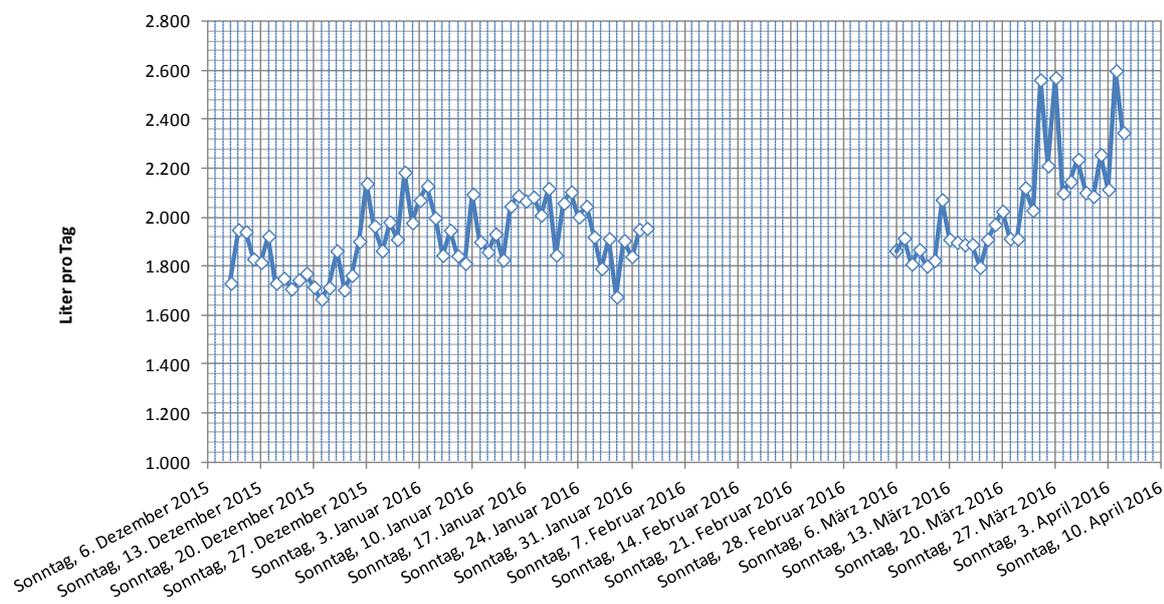
**Abbildung 27:** Vorbereitung der Wärmeeinspeisung.  
 Zum Anschluss der Wärmerückgewinnungsanlage müssen später lediglich ein Ventil geschlossen und zwei geöffnet werden.

**Tabelle 6:** Erläuterungen zur Vorplanung

Puffer:	Der Tank, in dem die Wärme, welche aus dem Grauwasser gewonnen wurde, zwischengelagert wird.
Leichtes Gefälle zum Bodeneinlauf:	Damit bei Wartungsarbeiten ggf. austretendes Wasser nicht auf den Flur hinaus läuft, ist ein Gefälle von der Tür weg, zum Bodenablauf hin vorzusehen.
Wärmepumpe:	Falls die Wärmerückgewinnung mit einer Wärmepumpe ergänzt wird, kann diese an der markierten Stelle unter dem Zulaufsieb installiert werden.
Sieb:	Das Sieb für die mechanische Vorreinigung sollte so hoch installiert werden, dass alle ankommenden Grauwasserleitungen im freien Zulauf angeschlossen werden können. Falls möglich, sollte das Spülwasser des Siebes ohne zwischengeschaltete Hebeanlage in die Kanalisation gegeben werden.
Wärmerückgewinnung:	Die Wärmerückgewinnung ist ein mit einem sich selbstreinigenden Wärmetauscher ausgestatteter Tank, mit dessen Hilfe die Wärme des frischen Grauwassers entzogen wird.
BE:	BE markiert die ungefähre Position des Bodeneinlaufs, der für die sichere Arbeit mit Wasser benötigt wird. Dieser muss mit einem Geruchsverschluss ausgestattet sein. Der Kreis daneben stellt einen in den Boden eingelassenen DN 100 Muffenanschluss dar. Dieser muss hier mindestens 1 Meter von der linken Wand entfernt vorgesehen werden. Die daran angeschlossene Schmutzwasserleitung sollte ohne zwischengeschaltete Hebeanlage der Kanalisation zugeführt werden.
Dreistufige Biologie:	Die Bioreaktoren, sind säulenartige Behälter, die eine freie und unverbaute Mindesthöhe von 2,2m benötigen.
Steuerung und Monitoring:	Hier befindet sich eine Montageeinheit, auf der unter anderem die Anlagensteuerung montiert ist. Für diese Stelle ist auch die Stromversorgung vor zu sehen.
Betriebswasserspeicher:	Hier wird das UV-desinfizierte Betriebswasser gelagert. Die Druckerhöhungspumpen für die Verteilung des Betriebswassers sind in den Tank integriert.

Die Seniorenresidenz ist erst seit Januar 2016 voll belegt. Die ersten Verbrauchszahlen für die Toilettenspülung liegen vor (siehe Abbildung 28).

Nach dem vorliegenden Betriebswasserbedarf wäre die Anlage auf eine max. Tagesreinigungsleistung von 2.200 Liter/Tag zu dimensionieren. Die 45 Senioren haben einen erhöhten Spülwasserbedarf von 41,2 bzw. nach neusten Messungen sogar 44,5 Liter/P/d (das entspricht 43,6% des Gesamtwasserverbrauchs). Ob sie auch entsprechend viel Grauwasser (aus Dusch-, Badeabwasser sowie den Abläufen aus Handwaschbecken und Waschmaschinen) erzeugen werden, wird sich zu einem späteren Zeitpunkt zeigen, wenn Untersuchungen zu den Abwassertemperaturen und der Abwasserbelastung dieser speziellen Nutzergemeinschaft durchgeführt wurden, um darauf aufbauend eine maßgerechte Anlagendimensionierung vorzunehmen.



**Abbildung 28:** Betriebswasserbedarf - allein für den Toilettenspülwasserbedarf in einem Seniorenwohnheim - zuletzt belegt mit 45 Personen. Die Toiletten sind ausgerüstet mit konventionellen wassersparenden Spülkästen (3 bzw. 6 Liter pro Betätigung).

Vorbereitet für die nächste Projektphase ist das Strommonitoring, welches Netzbezug, Netzeinspeisung und Hausverbrauch sowie Batterieladung, -entladung und PV-Erzeugung im 5 Min.-Raster aufzeichnet. In den folgenden Abbildungen (Abbildung 29 und Abbildung 30) wird das Strommonitoring für das Kaiserliche Postamt für einen nicht untypischen Wintermonat und für den Mai dargestellt.

Deutlich sichtbar, dass der Hausverbrauch in beiden Zeiträumen weitgehend identisch ist, während die PV-Anlage im Mai erwartungsgemäß deutlich höhere Erträge erwirtschaftet.

Eine grobe Vordimensionierung der Wärmepumpe zielt auf eine Wärmeleistung von etwa 9 kW, was bei einer guten Wärmepumpe über einen tägliche Laufzeit von ca. 10 Stunden eine Stromaufnahme von 2 – 2,5 kW zur Folge hätte.

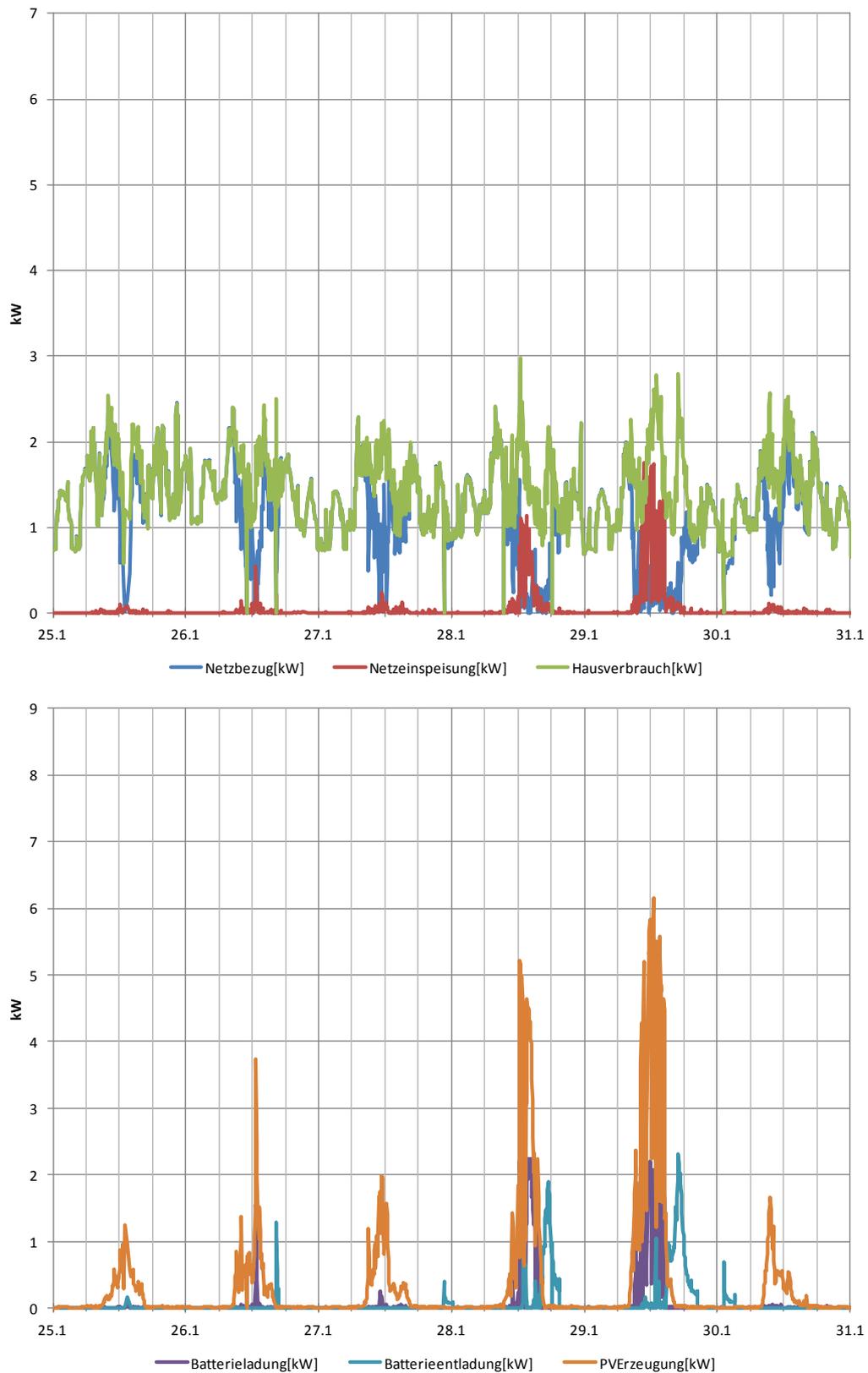
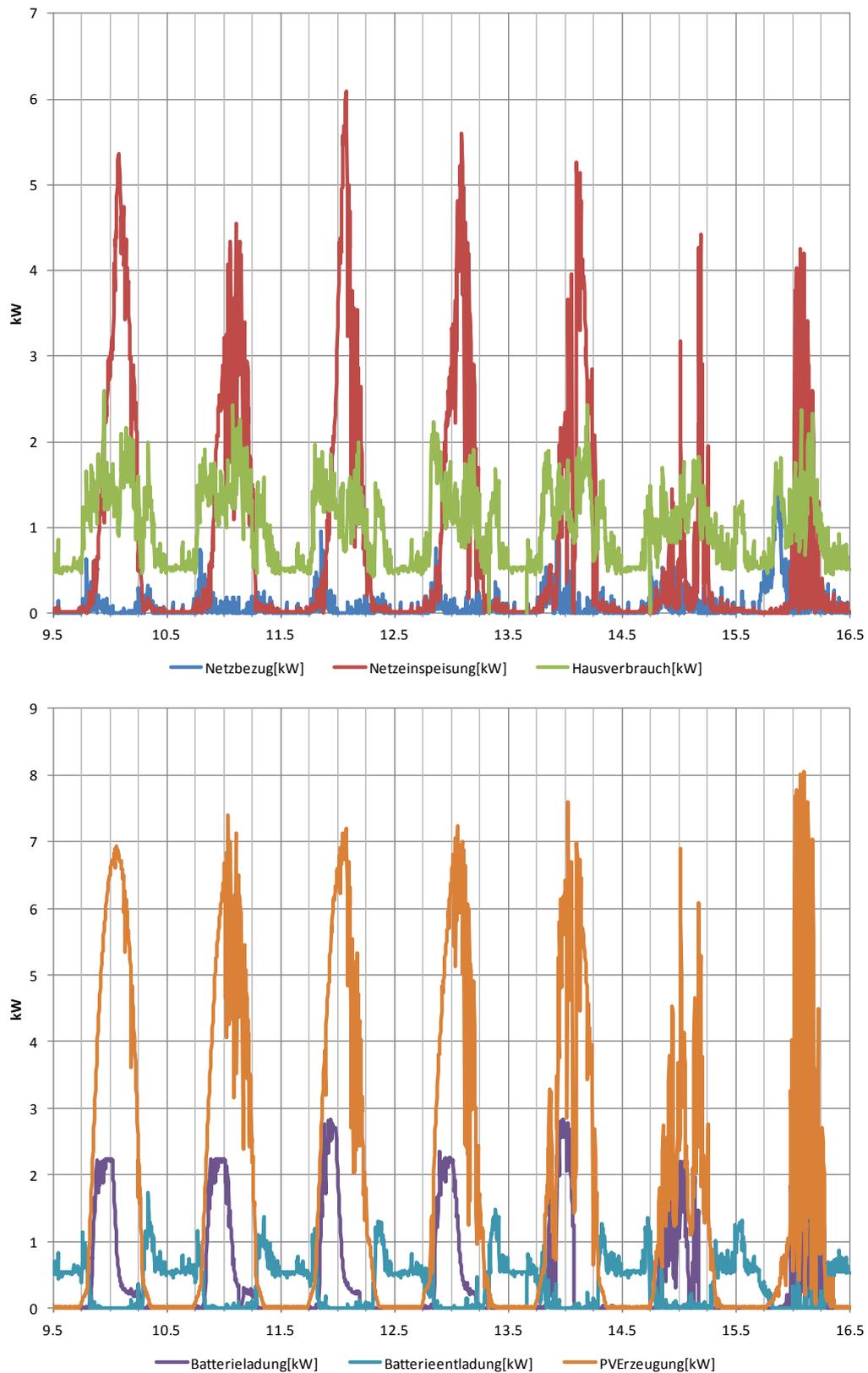


Abbildung 29: Kaiserliches Postamt - Strommonitoring in der 4. Januarwoche 2016.



**Abbildung 30:** Kaiserliches Postamt - Strommonitoring in der 2. Maiwoche 2016.

## Variantenvergleich

Auf Basis der Warmwasserbedarfswerte - dargestellt in Tabelle 2 - und den Primärenergiefaktoren - dargestellt in Tabelle 7 - werden in Tabelle 8 verschiedene Varianten der Wärmerückgewinnung aus Abwasser verglichen, bei denen es ausschließlich darum geht, die Energie der Umweltwärme Abwasser für die Warmwasserbereitung zu nutzen, die hier **für einen eher wassersparenden Haushalt mit 656 kWh pro Person und Jahr** angenommen wurde. Höhere Wasserverbräuche hätten höhere Einsparraten zur Folge.

Beim Vergleich der unterschiedlichen Varianten steht hier die Primärenergieeinsparung im Vergleich zu einer Gastherme. Für private Investoren ist die Primärenergieeinsparung u. U. ein eher weniger wichtiger Aspekt – sie interessiert oftmals mehr die ökonomischen Argumente, die hier zu diesem Zeitpunkt noch nicht ausreichend sicher zu beziffern sind, weil quasi zu wenige Anlagen bzw. zu wenige Untersuchungen existieren. Sich ändernde Einspeiseregulungen - z. B. Strafgebühren für zu viel eingespeisten Solarstrom etc. - erschweren vergleichende Bewertungen und machen eine allgemein gültige Aussage unmöglich.

**Tabelle 7:** Energieträger und Ihre Primärenergiefaktoren nach DIN V 18599-1<sup>18</sup>.  
 Für Strom wurde nach den neusten Vorgaben 1,8 als Primärenergiefaktor angenommen<sup>19</sup>.

Energieträger		Primärenergiefaktoren $f_p$	
		insgesamt	nicht erneuerbarer Anteil
		A	B
Fossile Brennstoffe	Heizöl EL	1,1	1,1
	Erdgas H	1,1	1,1
	Flüssiggas	1,1	1,1
	Steinkohle	1,1	1,1
	Braunkohle	1,2	1,2
Biogene Brennstoffe	Biogas	1,5	0,5
	Bioöl	1,5	0,5
	Holz	1,2	0,2
Nah-/Fernwärme aus KWK <sup>b</sup>	fossiler Brennstoff	0,7	0,7
	erneuerbarer Brennstoff	0,7	0,0
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	fossiler Brennstoff	1,3	1,3
	erneuerbarer Brennstoff	1,3	0,1
Strom	allgemeiner Strommix	2,8	2,4
	Verdrängungstrommix	2,8	2,8
Umweltenergie	Solarenergie	1,0	0,0
	Erdwärme, Geothermie	1,0	0,0
	Umgebungswärme	1,0	0,0
	Umgebungskälte	1,0	0,0
Abwärme innerhalb des Gebäudes	aus Prozessen, siehe 3.1.32	1,0	0,0
<sup>a</sup> Bezugsgröße Endenergie: Heizwert $H_1$			
<sup>b</sup> Angaben sind typisch für durchschnittliche Nah-/Fernwärme mit einem Anteil der KWK von 70 %			

<sup>18</sup> Grundlagenpapier Primärenergiefaktoren des Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Berlin 2015

[https://www.bdew.de/internet.nsf/id/06FBC70ECF24F3A7C1257E51003DA425/\\$file/705\\_2015-04-22\\_Grundlagenpapier-Primaerenergiefaktoren.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/06FBC70ECF24F3A7C1257E51003DA425/$file/705_2015-04-22_Grundlagenpapier-Primaerenergiefaktoren.pdf).

<sup>19</sup> Für elektrischen Strom fordert die EnEV 2014, dass Fachleute bei der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs als Primärenergiefaktor für den nicht erneuerbaren Anteil ab dem 1. Januar 2016 nicht mehr der Wert aus der Norm - siehe oben - sondern den Wert 1,8 verwenden.

In Tabelle 8 wird der theoretisch nutzbare Abwasserstrom einer Person im Hinblick auf die Abwasserwärmenutzung durch verschiedene technische Varianten betrachtet. Es wird stets das Ziel verfolgt, diese Energie zur Vorerwärmung des kalten Trinkwassers zu nutzen.

Bei einer möglichst ganzjährigen Nutzung der Abwasserwärme bietet es sich in erster Linie an, diese zur Vorerwärmung des kalten Trinkwassers zu verwenden. Die folgende Betrachtung geht vereinfachend davon aus, dass das Kaltwasser ganzjährig mit 10°C ansteht und, zur Vermeidung von hygienischen Risiken, das kalte Trinkwasser in der Wärmerückgewinnung nicht über 25°C vorerwärmt wird bzw. dort, wo eine Wärmepumpe zum Einsatz kommt auf > 60°C erwärmt wird. Der Temperaturbereich zwischen 25 und 60°C wird hier also aus hygienischen bzw. gesetzlichen Gründen vorerst ausgeblendet, obgleich bei orientierenden Untersuchungen an eigenen Wärmetauschern, die z. T. seit mehreren Jahren betrieben werden und auch in den ihnen nachgeschalteten Systemen, bisher bei keiner Untersuchung Legionellen nachgewiesen werden konnten.

Die öffentliche Energiediskussion blickt momentan noch auf die zentrale Wärmerückgewinnung und die Biogasnutzung von häuslichem Abwasser. Beide Systeme benötigen jedoch Abwassermengen von mindestens 10.000 Einwohnern und sind wartungsintensiver und weniger ressourceneffizient.

Bei der Wärmerückgewinnung aus dem Abwasserkanal stimmen Experten zunehmend überein, dass das Nutzungspotenzial gering ist<sup>20</sup>, da kommunales Abwasser selten um mehr als 1-2°C abgekühlt werden kann und bei der Biogasgewinnung nur maximal 42 kWh/P/a geerntet werden können (siehe Deutscher Nachhaltigkeitspreis Forschung 2014).<sup>21</sup>

**Variante 1** hat das geringste Wärmepotenzial von 70 kWh/P/a, weist wegen der hierfür zwingend erforderlichen Wärmepumpe, den geringsten Primärenergiegewinn in Höhe von 56 kWh/P/a auf, was insbesondere daran liegt, dass das Abwasser bereits den größten Teil seiner Wärme an die Umwelt abgegeben hat, bevor es die Wärmerückgewinnungsanlage erreicht und dann i. d. R. nur noch eine geringe Abkühlung erfährt. Im Vergleich zur Gastherme werden bei einem Primärenergiefaktor von 1,8 (für die Stromerzeugung) und einem optimistisch angenommenen COP von 4, lediglich 9 % Primärenergie eingespart. Würde die zehnfache Abwassermenge zur Verfügung stehen, weil eben nur jeder Zehnte an die zentrale Wärmerückgewinnung angeschlossen ist, könnte die Warmwasserbereitung theoretisch zwar vollständig über das zentrale System erfolgen, die prozentuale Primäreinsparung gegenüber der Warmwasserbereitung mittels Gastherme wäre trotzdem nicht höher als 4,7%.

---

<sup>20</sup> EUWID Wasser und Abwasser vom 19.01.2016, S. 1“ Nutzungspotenzial für Abwasserwärme gering“

<sup>21</sup> Remy, Christian; Boulestreau, Morgane; Lesjean, Boris: Vom Klärwerk zum Kraftwerk. Innovative Abwasserbehandlung mit Energiegewinn. Berlin, 2015.

([www.wasser-berlin.de/media/wasser/wasser\\_media/wasser\\_pdfs/2015/kongressdokumentation/wissenschaft\\_trifft\\_praxis\\_26\\_03\\_15/Dr.-Ing\\_Christian\\_Remy.pdf](http://www.wasser-berlin.de/media/wasser/wasser_media/wasser_pdfs/2015/kongressdokumentation/wissenschaft_trifft_praxis_26_03_15/Dr.-Ing_Christian_Remy.pdf))

**Tabelle 8:** Rechnerischer Variantenvergleich verschiedener Wärmerückgewinnungsverfahren mit dem Bewertungsfokus auf Primärenergieeinsparungen für die Warmwassererwärmung im Wohnungsbau.

Ort der WRG	Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4		Variante 5		Variante 6	
	Abwasserkanal	Wohnung in Dusche	Duschwasser	Kreuzstrom-WT	Dusche, Badewanne Handwaschb.	WT mit Umwälzpumpe	Wärmepumpe	Wärmepumpe	Wärmepumpe	Wärmepumpe + PV	Haus WRG Grauwasser für diskontinuierlichen Anfall	
<b>Art des Abwassers</b>	gesamtes Schmutzwasser		Duschwasser		Dusche, Badewanne Handwaschb.		gesamtes Grauwasser inkl. Küche und Waschmaschine					
Technologie	Wärmepumpe		Kreuzstrom-WT		WT mit Umwälzpumpe		Wärmepumpe		Wärmepumpe			Wärmepumpe + PV
Abwassermenge [L/P/d]	110	25			43,6	65,4	65,4	65,4	65,4			65,4
ohne Kleingewerbe												
Abwassertemperatur vor WT [°C]					31	31	31	31	31			31
Abwassertemperatur nach WT [°C]					20,3	23,9	10	10	10			10
Wassermenge zur Vorerwärmung [L/P/d]		14,3			31	31	31	31	31			31
Temp. Kaltwasser [°C]		10			10	10	10	10	10			10
Temp. vorerwärmtes Kaltwasser [°C]		25			25	25	25	25	25			25
nutzbare Temperaturdifferenz [K]	1,5	15			15	15	15	15	15			15
max. nutzbares Wärmepotenzial [kWh/a/P]	70	91			197	197	197	197	197			581
angenommene JAZ für Wärmepumpe	4				ohne WP	ohne WP	ohne WP	ohne WP	ohne WP			4,5
erforderl. elektr. Energie [kWh/P/a] um Abwasserwärme zu nutzen	17,5	0			3,960	3,960	3,960	3,960	3,960			129,2
maximal für WW-Bereitung nutzbar [kWh/a/P] Abw. Wärme + Strom	87,3	90,7			200,8	200,8	200,8	200,8	200,8			710,7
Primärenergiefaktor Strom [kWh/kWh]	1,8	0			1,8	1,8	1,8	1,8	1,8			0
Primärenergie-Strom für WP [kWh]	31,4	0			7,13	7,13	7,13	7,13	7,13			0,0
Primärenergiegewinn [kWh/P/a]	56	91			194	194	194	194	194			711
%-Anteil vom WW-Wärmebedarf (Primärenergie) regeneriert aus eigenem Abwasser	9%	14%			30%	30%	30%	30%	30%			108%
equivalente Solarkollektorfläche bezogen auf durch WRG nutzbare Energie [m <sup>2</sup> ]	0,24	0,25			0,56	0,56	0,56	0,56	0,56			1,97
equivalente Solarkollektorfläche bezogen auf Primärenergiegewinn [m <sup>2</sup> ]	0,16	0,25			0,54	0,54	0,54	0,54	0,54			1,97
PV-Fläche für Betriebsstromerzeugung [m <sup>2</sup> ]	0,17	0,00			0,0396	0,0396	0,0396	0,0396	0,0396			1,29
Primärenergieeinsparung im Vergleich zur Gastherme [kWh]	61,5	100			213	213	213	213	213			782
Substitutionspotenzial für die WW-Erwärmung (ohne Verteilverluste)	9,4%	15,2%			32,5%	32,5%	32,5%	32,5%	32,5%			119,1%
<b>Berechnungsbasis</b>												
Solarthermie [kWh/m <sup>2</sup> /a]	100	31			656	656	656	656	656			91%
360												91%

Obwohl nur einem kleinen Teil des häuslichen Abwassers die Wärme entzogen wird, steht die Wärmerückgewinnung in der Dusche (**Variante 2**) deutlich besser da als Variante 1. Diese liegt daran, dass für deren Betrieb keine elektrische Energie benötigt wird. Für insgesamt 30 Liter auf 40°C erwärmtes Duschwasser, wird neben dem vorerwärmten Wasser noch 13 Liter Heißwasser (60°C) zugemischt. Der spezifische Primärenergiegewinn wurde hier mit 91 kWh berechnet. Lediglich beim Duschen stellt sich eine hohe Gleichzeitigkeit von Abwärmefall und Wärmebedarf ein. Will man darüber hinaus auch die Potenziale aus den Badewannen- und Waschmaschinenabläufen, sowie die aus den Küchen nutzen, muss das warme Abwasser, vom kalten getrennt, erfasst und für einen kurzen Zeitraum zwischengespeichert werden.

Auf die Korrosionsbeständigkeit der verwendeten Materialien und die Einhaltung der technischen Regeln zum Schutz der Trinkwasserqualität sollte bei der Produktauswahl geachtet werden.

Das Problem der geringen Gleichzeitigkeit von Abwasseranfall und Wärmebedarf wird in den **Varianten 3 bis 6** technisch gelöst, indem das Abwasser für eine kurze Dauer zwischengespeichert wird. In Abhängigkeit von der Dimensionierung des Wärmerückgewinnungssystems verbleibt es hier solange, bis das aktuell nutzbare Wärmepotenzial weitestgehend entnommen wurde. Die **Varianten 3 und 4** benötigen neben einer Selbstreinigungseinrichtung für den Wärmetauscher lediglich eine kleine, leistungsschwache Umwälzpumpe zum Wärmetransport vom Grauwasser zum Wärmepufferspeicher. Unter denen in Tabelle 8 genannten Rahmenbedingungen kann in etwa die doppelte Menge an Wärmeenergie zurückgewonnen werden, was daran liegt, dass weitere Abwasserquellen genutzt werden. Die Integration weiterer Grauwasserquellen erhöht den Wärmeertrag auf beachtliche 194 kWh/P/a - etwa 1/3 des Wärmebedarfs für die gesamte Warmwasserbereitung. Der spezifische Wärmeertrag kann weiter erhöht werden, sofern das Abwasser wärmer in die WRG gelangt bzw. der Warmwasserbedarf steigt. Von weiteren Grauwasserzulaufmengen (Waschmaschine, Küche etc.) sind keine zusätzlichen Wärmeerträge zu erwarten, solange nicht auch mehr Warmwasser vorerwärmt wird bzw. die max. Temperatur zur Vorerwärmung auf 25°C limitiert ist.

Ein besonderer Vorteil der dezentralen Wärmerückgewinnung, welcher bisher nicht angesprochen wurde, ist, dass die Wärmerückgewinnung auch dann funktioniert, wenn die Solarthermie keine Erträge mehr bringt und die WRG **gerade in den Wintermonaten den höchsten Wirkungsgrad** erzielt, wenn nämlich das Frischwasser die niedrigsten Temperaturen aufweist.

Wird dem gesamten Grauwasser seine Wärmeenergie mittels Wärmepumpe entzogen, kann rechnerisch der gesamte WW-Wärmebedarf und sogar ein Teil der Verteilungsverluste bedient werden (**Variante 5**). Der Umwelteffekt ist dann maßgeblich von der Qualität der Wärmepumpe und auch davon abhängig, wie der elektrische Strom zum Betrieb der Wärmepumpe gewonnen wird.

In der Fachwelt wird zunehmend diskutiert, für Niedrigenergiehäuser lieber PV-Module zu installieren und damit eine Wärmepumpe zu betreiben, anstatt Solarthermie zu installieren.

Die Globalstrahlung im Winter pendelt demnach relativ stabil zwischen ca. 350 und 400 kWh/m<sup>2</sup>. Gemessen an den Globalstrahlungswerten eines Jahres erzeugt eine Photovoltaik Anlage in Deutschland im Winter zwischen 33% und 35% ihres jährlichen Ertrags.

Mit Photovoltaik im Winter den gesamten Heiz- und Warmwasserwärmebedarf eines Passivhauses zu decken, ist nahezu ausgeschlossen - sowohl aus finanziellen, als auch aus baulichen und technischen Gründen. Den Warmwasserwärmebedarf ganzjährig über PV und Wärmepumpe zu decken ist ein bisher selten diskutierter Aspekt. Ein Kilowattpeak Photovoltaik kostet 2013 zwischen 1.500 € und 2.000 €<sup>22</sup>. Wärmepumpe und Photovoltaik senkt den Jahresprimärenergiebedarf. Die positive Energiebilanz aus der Verbindung von Wärmepumpe und Photovoltaik wirkt sich darüber hinaus auch positiv auf den Jahresprimärenergie-Bedarf eines Wohnhauses aus (**Variante 6**). Nach der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) kann selbst-erzeugter Strom rechnerisch vom Endenergiebedarf eines Hauses abgezogen werden. Durch die Verbindung einer Wärmepumpe mit Photovoltaik, sinkt der Jahres-Primärenergiebedarf. Die Wärmeenergie so weit wie möglich aus dem warmen häuslichen Abwasser zu entnehmen hat den Vorteil, dass die Wärmepumpe deutlich effizienter arbeitet, als wenn die Energie aus der kalten Umgebungsluft oder über Erdwärme gewonnen wird.

Um den WW-Tagesbedarf rechnerisch in ca. 9 h aufzuheizen, wird eine Heizstabileistung von 0,2 kW/d/ür Person benötigt, was für die Wärmepumpe (JAZ 4,5) eine überschlägige Stromaufnahme von 50 Watt/P bedeuten würde.

Für belastbare Zahlen zur **Wirtschaftlichkeit** ist es im derzeitigen Stadium, dem gleichzeitigen Betrieb von zwei Prototypen, noch viel zu früh. Man kann jedoch annäherungsweise davon ausgehen, dass die Mehraufwendungen für ein zweites Leitungsnetz, welches Grau- und Schwarzwasser im mehrgeschossigen Wohnungsbau über 50 Jahre hinweg getrennt erfasst, ca. 500 € pro Wohneinheit betragen wird. Nicht mehr als ein iPhone, welches z.T. eine Nutzungsdauer unter 3 Jahren hat. Der Mehraufwand für die Wärmerückgewinnungsanlage ist sehr stark von der Effizienz, Qualität und davon abhängig, wie wartungsarm die Anlage sein soll. Im Vorläuferprojekt am Arnimplatz wurde die WRG noch ohne Wärmepumpe für insgesamt 123 Personen realisiert. Die erforderliche Anlagentechnik für den Prototyp der Grauwasserrecyclinganlage inklusiv vorgeschalteter WRG, Montage und Umsatzsteuer hat die Investitionskosten um 11,38 €, bezogen auf den Quadratmeter angeschlossener Wohnfläche erhöht, was als eher unbedeutend einzustufen ist, wenn man berücksichtigt, dass der Wohnraum im Bereich von ca. 4.000 €/m<sup>2</sup> gehandelt wird.

---

<sup>22</sup> <http://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/elektroheizung/ertrag-im-winter>  
- abgerufen am 16.04.2016.

## 4. Bedeutung der gebäudeweisen Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser

Die Anfangseuphorie der Wärmerückgewinnung aus dem kommunalen Abwasserkanal ist am Abklingen. Für wirtschaftliche Einheiten muss eine Mindestabwassermenge von ca. 10.000 Personen zur Verfügung stehen und auf der Nutzerseite möglichst in unmittelbarer Nähe ein Wärmegroßabnehmer. Hinzu kommen oftmals schwierige vertragliche Regelungen zwischen dem Kanalbetreiber und dem Contractor, dem Bauherrn bzw. Immobilienbesitzer<sup>23</sup>.

Die gebäudeweise WRG ist vertraglich wesentlich einfacher zu gestalten, kann wegen der deutlich höheren Abwassertemperaturen mit einem deutlich höherem Primärenergiegewinn (Energieeffizienz) betrieben werden und ist mit Blick auf die Wasservorerwärmung auch für kleine Einheiten (vom mehrgeschossigen Wohnungsbau bis hin zur einzelnen Wohneinheit) möglich. Das Erreichen der hier im Variantenvergleich genannten Orientierungswerte setzt auf jeden Fall eine sorgfältige Planung und bauliche Umsetzung voraus. In der Praxis wird es dann entscheidend sein, wie stabil und wartungsarm die Systeme zu betreiben sind.

Mit der Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser - und das ist unstrittig - besteht die Möglichkeit, das letzte große „Loch“ für Wärmeverluste „zu stopfen“.

Die Daten und Erfahrungen mit der vorgeschalteten Wärmerückgewinnung haben sich weiterhin bestätigt. Allein durch Dusch- und Badeabwasser (ca. 25 l/P/d) werden ca. 100 kWh/P/a mit einer hohen Effizienz (der Stromeinsatz beträgt nur 4 kWh/P/a) nutzbar gemacht. Die wichtigsten Komponenten, der fast wartungsfreie Wärmetauscher - nun auch für hoch belastetes Grauwasser - und ein neu entwickelter Pufferspeicher haben die Tests bestanden. Der Ansatz, die Wärmerückgewinnung in Kombination mit einer Wärmepumpe und PV zu betreiben, erscheint zukunftssträftig und sollte deshalb weiter erforscht und in der Praxis erprobt werden.

Die Aussicht, hierbei über einen Zeitraum von täglich etwa 8 Stunden, die Warmwasserbereitung mit einer Leistungsaufnahme von 50 Watt/Person aus regenerativem Strom zu bestreiten - das entspricht der Leistungsaufnahme eines Laptops - erscheint hoffnungsvoll, um signifikante Energieeinsparungen und CO<sub>2</sub> Reduzierungen zu erreichen.

Für die in dieser Arbeit aufgezeigten Möglichkeiten der dezentralen WRG aus häuslichem Abwasser wäre die zeitnahe Praxiserprobung an ganz unterschiedlichen Standorten mit unterschiedlichen Nutzerprofilen empfohlen, wofür zumindest für die ersten Jahre eine staatliche Förderung erforderlich sein wird. Selbstverständlich sollten die erzielten Einsparungen in den entsprechenden Berechnungstools für die EnEV u. a. berücksichtigt werden.

---

<sup>23</sup> Hamann, Achim: Grundlagen der Abwasserwärmenutzung, Fraunhofer IBR Verlag, 2015, S. 26ff.

Das Passivhausinstitut in Darmstadt hat hier einen ersten Schritt in die richtige Richtung unternommen, indem es 2015 die Wärmerückgewinnung - vorerst noch beschränkt auf Duschtassen - in ihr Energiebilanzierungs- und Planungstool PHPP 9.4 integriert hat.