

WÄRMERÜCKGEWINNUNG AUS GRAUWASSER

Forschungsprojekt „Wärmerückgewinnung aus Grauwasser“

Inhaltsverzeichnis

Abschlussbericht	Seite 2
Fragebogenauswertung	Seite 4
Stellungnahme Büro TB Ing. Heiling	Seite 5
Erfahrungsbericht Firma Strebel	Seite 6
Zusammenfassung	Seite 7
Ziel des Projekts	
Definition Anfall von Grauwasser	
Charakteristika Grauwasser	Seite 8
Beschreibung der Pilotanlage	Seite 9
Mess- und Regeltechnik	Seite 11
Messergebnisse	Seite 14
Energetische Betrachtung	
Erkenntnisse	Seite 17
Appendix (Prospekt)	Seite 19

Forschungsprojekt „Wärmerückgewinnung aus Grauwasser“

Abschlussbericht

Im Oktober 2015 wurde der Siedlungsgenossenschaft Neunkirchen ein nicht rückzahlbarer Zuschuss für das Wohnbauforschungsprojekt „Wärmerückgewinnung aus Grauwasser“ zugesagt.

Mit diesem Forschungsprojekt sollte untersucht werden, ob und in wie weit aus dem sogenannten Grauwasser, also nicht fäkalisierten, gering verschmutzten Abwässern, welche bei Duschen, Baden, Händewaschen aber auch aus der Waschmaschine entstehen, eine effektive und effiziente Rückgewinnung der in diesen Wässern enthaltenen Wärme möglich ist.

Dazu wurde eine technische Pilot-Anlage entwickelt, welche in einem Wohnhaus diese Grauwässer zentral sammelt und entsprechend energietechnisch behandelt.

Anfangs war vorgesehen diese erste Pilotanlage im ersten Bauabschnitt in einem Wohnhaus einer größeren, in mehreren Bauetappen zu errichtenden Wohnhausanlage in Wiener Neustadt einzubauen.

Im Zuge der Bauvorbereitungen zeigte sich jedoch das Problem, dass die Sohle des öffentlichen Schmutzwasserkanals deutlich höher als ursprünglich angenommen lag. Für die grundsätzliche Entwässerung dieses Wohnhauses stellte dies kein Hindernis dar, da die geplante Einleitung der gesammelten Abwässer unterhalb der Geschoßdecke des Erdgeschosses erfolgt. Die Wärmerückgewinnungsanlage wäre im Kellergeschoss situiert gewesen, wobei für die Ableitung der Abwässer aus dieser Anlage aus dem Kellerniveau in den öffentlichen Schmutzwasserkanal eine Hebeanlage erforderlich gewesen wäre. Es wurde deshalb nach reiflicher Überlegung und Abwägung aller Vor- und Nachteile, insbesondere aus ökonomischer Sicht davon Abstand genommen, die Pilotanlage in dieses ursprünglich vorgesehene Wohnhaus einzubauen und stattdessen die Anlage im nächsten Bauteil zu realisieren.

Die Wärmerückgewinnungsanlage wurde daher - nach Rücksprache und Freigabe durch das Land NÖ, in das Wohnhaus Anni-Stern-Braunberg-Gasse 2 eingebaut; Baubeginn war im August 2016; die Fertigstellung und Übergabe an die Mieter erfolgte Ende November 2017.

Die Wärmerückgewinnungsanlage wurde mit einer umfangreichen Sensorik ausgestattet, um über den Beobachtungs- bzw. Forschungszeitraum entsprechende Ergebnisse erzielen zu können. Unter Anderem wurden Daten über die Konfiguration der Anlage, das Nutzerverhalten und damit im Zusammenhang stehende ev. geänderte Verhalten der Mieter, die ideale technische und bauliche Ausgestaltung eines Wohnhauses für den Einbau einer derartigen Anlage, gesammelt, um letztlich Aussagen hinsichtlich der Effektivität und letztlich über die Effizienz einer derartigen Wärmerückgewinnung gewinnen zu können.

Parallel dazu wurden auch anonyme Befragungen der Nutzer des Wohnhauses zur Verstärkung der Ergebnismessungen durchgeführt.

Aufgrund der enormen Datenmenge - im Forschungs- bzw. Beobachtungszeitraum bis Jänner 2020 waren rund 2 Millionen Datensätze angefallen und der damit im Zusammenhang stehenden Auswertung, vor Allem aber auch durch die Covid-19-Krise bedingt, konnte der Endbericht erst im Juli 2020 fertiggestellt werden.

Wir bedanken uns recht herzlich beim Land NÖ - auch namens der involvierten Unternehmen, dass eine derartige Pilotanlage und die Beforschung derselben durch die Unterstützung durch die NÖ Wohnbauforschung realisiert werden konnte.

Wenn auch bestimmte Vorstellungen hinsichtlich der Effizienz, offenbar aufgrund von Projektspezifika, welche in der bautechnischen Ausgestaltung des Wohnhauses als auch im Verhalten der Mieter zu finden sind, nicht erfüllt werden konnten (und auch zukünftig nicht erfüllt werden können), zeigte sich trotzdem das

Potential derartiger Wärmerückgewinnungsanlagen. Darüber hinaus zeigte dieses Forschungsprojekt auch deutlich, wo und wie derartige Anlagen verbaut werden können, um die ökonomische Effizienz und technisch-ökologische Effektivität höchstmöglich zu erfüllen.

Summa summarum hat diese Form der Wärmerückgewinnung aus Grauwasser ein durchaus realistisches Potential für die Zukunft, sofern bestimmte Parameter wie bspw. die Größe und bauliche Konfiguration des Wohnhauses eingehalten werden.

Wir bedanken uns nochmals recht herzlich beim Land NÖ und bei der NÖ Wohnbauforschung für die erwiesene Unterstützung und die Möglichkeit, ein derartiges Projekt umzusetzen.

GRAUWASSERNUTZUNG

Auswertung Fragebögen Anni-Stern-Braunberg-Gasse, Wiener Neustadt

Ausgesendete Frageb.:	17
Rückgesendete Frageb.:	7
Rücklaufquote:	41%

Anzahl der dauerhaft (mehr als 4 Tage) die Wohnung nutzenden Personen	Alterskat. der die Wohnung nutzenden		Nutzung aller Personen pro Woche				Nutzung pro Woche		über die Standardausstattung hinausgehende Änderungen (z.B. Regendusche, ...)	SUMME
	Kinder bis einschl. 14. Lj.	15. bis einschl. 20. Lj.	21. bis einschl. 60. Lj.	über 60. Lj.	Dusche	Bade- wanne	Geschirr- spüler	Wasch- maschine		
1			1		7	1-2 *	1-2	1-2	---	
2			2		8	3	5	7	---	
5	3		2		7		7	2-3	---	
1				1	3		1-2	2	Regend. statt Badew.	
2		2			12	0,5	4-5	3	---	
1			1		*	2	*	0,5	---	
Summe					37x30 L	7x100 L	20x10 L	17x50 L	2 860 Liter/WE, Woche	68 Liter GW / WE, Tag 34 Liter/Person, Tag

1. Auswertung umfaßt 6 WE mit 12 Bewohnern, obwohl 7 Fragebögen zurückgekommen sind.
2. Abgesehen von der 5 köpfigen Familie, sind die Wohnungen nur mit 1 bis 2 Personen belegt, im Schnitt 2,0
3. Die Anzahl der Nutzungen multipliziert mit den relevanten Verbräuchen führt zu 2 860 Liter WW 38° in der Woche bzw. 34 Liter / Bewohner, Tag
4. Die Angabe der 5 köpfigen Familie, insgesamt nur 7 Duschen / Woche und kein Bad dürfte auf einem Missverständnis beruhen. Es dürften 7 x 5 = 35 Duschen/Woche sein. Korrigiert man das, so kommt man auf 3 700 Liter WW 38° bzw. 44 Liter / Bewohner, Tag. Dies ist wenig, aber im Rahmen des möglichen.
5. Kontrolle: Der von uns abgelesene Kaltwasserverbrauch je Tag liegt bei 3 200 Liter im Mai, Feiertage? Auf 23 WE umgelegt macht dies 70 Liter / Bewohner, Tag. Die Differenz auf 44 Liter, nämlich 26 Liter / Bewohner, Tag für WC + etc. ist sehr unter dem Durchschnitt, Maifeiertage?

SGN - Wohnen

Bahnstraße 25
A – 2620 Neunkirchen

Ternitz, 25.06.2020

Grauwassernutzung Anni Stern Braunberggasse 2

Sehr geehrte Damen und Herren !

Wie bereits im Schreiben der SGN vom 19.11.2015 angeführt konnte die Grauwasser-Wärmerückgewinnung im Haus Anni Stern Braunberggasse 5 aufgrund der Anschluss – Kanalhöhen und der nicht vorhandenen Platzreserven im Erdgeschoss nicht ausgeführt werden.

Beim zweiten Bauteil auf dem Bauplatz Anni Stern Braunberggasse 2 waren die Voraussetzungen besser und es wurden für 18 von 23 Wohnungen das Grauwasser separiert gesammelt und zur Grauwasseranlage der Fa. Strebel geführt.

Dabei wurden in Abstimmung mit dem Bauherrn auch die Küchenabwässer angeschlossen.

Lediglich die WC's wurden direkt in den Kanal geführt.

Als effektivste Wärmerückgewinnung konnte hier die Kaltwasserleitung vorgewärmt werden und somit immer, wenn Warmwasser gezapft wird, das Kaltwasser vorgewärmt nachgeführt wird.

Die größte Herausforderung der Wasserreinigung wurde in dieser speziellen Anlage sichtbar gut gelöst, sodaß es keinerlei gröbere Ausfälle bzw. Probleme gibt.

Die genauen Messdaten und Ergebnisse entnehmen sie bitte der Beilage von der Fa. Strebel.

Mit freundlichen Grüßen

Ing. Gerhard Heiling

TB Ing. Heiling GmbH



Grauwasser Wärmerückgewinnung

Pilotanlage der Siedlungsgenossenschaft Neunkirchen in Wiener Neustadt

Erfahrungsbericht 2020

Zusammenfassung

Dank der Zusammenarbeit mit der SGN konnte das von STREBEL patentierte Verfahren zur Wärmerückgewinnung aus Grauwasser in einem Neubau der Genossenschaft erstmalig praktisch umgesetzt werden. Die seit zwei Jahren laufende Pilotanlage brachte den Beweis, dass ein effizienter Plattenwärmetauscher mit über 90 % Wirkungsgrad zur Wärmerückgewinnung aus Grauwasser eingesetzt werden kann, wenn das Grauwasser zuvor mechanisch und biologisch gereinigt wird. Damit liegt der Effizienzgrad der Anlage weit über den typischen am Markt angebotenen Systemen zur Wärmerückgewinnung aus Grauwasser. Außerdem lässt der überraschend hohe Reinheitsgrad des Grauwasser-Filtrats auf mögliche weitere Nutzungspotentiale etwa als WC-Spülung oder zur Bauwerksbegrünung schließen.

Die Pilotanlage wird mit dem Grauwasser aus 18 angeschlossenen Wohnungen - von 23 - versorgt. Erste Ergebnisse zeigen, dass in diesen Wohnungen unterdurchschnittlich wenig Warmwasser (38°C) verwendet wird – ca. 45 l pro Kopf und Tag - weshalb auch der Wärmegewinn der Anlage relativ niedrig ist. Außerdem führen die langen Leitungen zur Grauwassersammlung und jene zwischen der Reinigungsanlage und dem Plattenwärmetauscher zu übermäßigen Wärmeverlusten. Durch diese und andere bauliche bzw. regeltechnische Nachteile beschränkt sich die rückgewonnene Wärmemenge im Schnitt auf nur ein Drittel des theoretisch möglichen Potentials von etwa 10 000 kWh.

STREBEL möchte an dieser Stelle einen Dank an die SGN und insbesondere an KR Weber aussprechen, welche das Projekt möglich gemacht und gefördert haben. So konnte der Beweis zur einwandfreien Funktionalität des neuartigen Verfahrens erbracht werden und die Systemoptimierung weiterverfolgt werden, mit dem Ziel, das volle Wärmepotential des Grauwassers auszuschöpfen.

Dipl.- Ing. Dr. Walter Huber
28.04.2020, Wiener Neustadt

Grauwasser-Wärmerückgewinnungsanlage der Siedlungsgenossenschaft Neunkirchen (SGN) in der Anni-Stern-Gasse 2700 WIENER NEUSTADT

1. Ziel des Projekts

STREBEL befasst sich seit 2012 mit der Wärmerückgewinnung aus Grauwasser (GW). Die SGN hat an STREBEL den Vorschlag herangetragen, in einem von der SGN zu errichtenden Wohngebäude aus dem anfallenden GW die Wärme rückzugewinnen und auf das kalte Frischwasser zu übertragen.

2. Definition und Anfall von Grauwasser

Unter GW versteht man laut EN 12056-1 fäkalienfreies Abwasser, das beim Duschen, Baden oder Händewaschen anfällt, aber auch aus der Waschmaschine und dem Geschirrspüler kommt.

Der tägliche Wasserverbrauch beträgt ca. 100 Liter je Bewohner. 40 Liter davon entfallen auf kaltes Nutzwasser, z.B. WC und 60 Liter werden zu GW. Das abfließende GW hat i.d.R. eine Temperatur zwischen 25°C und 40°C. Im Gegensatz zu GW ist Schwarzwasser fäkalienbelastet und enthält keine nutzbare Restwärme. Es wird ohne Umwege in die Kanalisation geleitet. Um die Wärme aus dem GW gewinnen zu können, muss es in einem eigenen Leitungsnetz gesammelt werden.

Ein Richtwert für die Zusammensetzung von GW ist bei einem Anfall von 60 Liter pro Person und Tag:

- 22 Liter Warmwasser mit 60°C
- 18 Liter Kaltwasser mit 10°C
- 20 Liter mit 38°C (Waschmaschine/Geschirrspüler o.ä.)

3. Charakteristika Grauwasser

GW hat abhängig von Wohngebäuden und dem sozialen Verhalten der Bewohner "an der Quelle" (Ausgang Bad, Dusche, Waschmaschine, Geschirrspüler) durchschnittlich eine Temperatur von 38°C. Der Wärmeinhalt gegenüber 10°C Frischwasser beträgt 32 kWh/1000l. Am Ende der Sammelleitung im Keller beträgt die GW-Temperatur ca. 30°C und der damit nutzbare Wärmeinhalt 23 kWh/1000l.

GW trägt die Problematik in sich, dass es verschmutzt ist und dies eine effiziente Wärmeübertragung im Wärmerückgewinnungsprozess verringert.

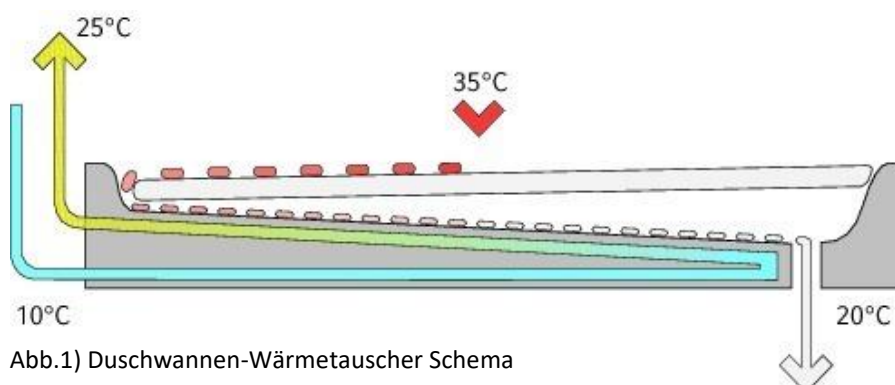


Abb.1) Duschwannen-Wärmetauscher Schema



Abb.2) Fallrohrwärmetauscher

Ein Konzept zur dezentralen Wärmerückgewinnung aus Grauwasser, das am Markt erhältlich ist, sind Duschwannen-Wärmetauscher (Abb.1). Diese übertragen die Wärme von anfallendem Duschwasser auf das neu einfließende Kaltwasser und wärmt es vor. Die relativ kurzen Zapfintervalle erlauben hierbei jedoch nur 10-40 % an Wärmeübertragungsleistung.

Ein anderes Marktprodukt, das GW als Wärmequelle verwendet, ist der Fallrohrwärmetauscher. Bei diesem Konzept tritt jedoch ein Fouling-Effekt auf: Es bildet sich an der Rohrwand ein dünner Biofilm, der die Übertragungsleistung rasch senken kann. Eine nur 1 mm dünne Schicht führt bereits zu einem Übertragungsverlust von etwa einem Drittel, so dass der Übertragungswirkungsgrad unter 50 % fällt.

Um das volle Wärmepotential von GW nutzen zu können, müssen die Verunreinigungen vorher entfernt werden. Daher hat STREBEL ein Reinigungsverfahren entwickelt, bei dem das GW nicht nur mechanisch, sondern v.a. auch biologisch gereinigt wird. Dies ist die Basis für das STREBEL Wärmerückgewinnungsverfahren aus GW, bei dem ein effizienter Plattenwärmetauscher mit > 90 % Wirkungsgrad eingesetzt werden kann.

Im gegenständlichen SGN Wohngebäude wurde erstmals diese patentierte STREBEL Idee der Grauwasserreinigung durch Belebung umgesetzt.

4. Beschreibung der Pilotanlage zur Grauwasserwärmerückgewinnung

Das Wohngebäude ist ein langgestreckter Bau mit 23 Wohnungen in drei Wohngeschoßen. Verständlicherweise wurde für die GW-Anlage ein Raum in der Nähe der Heizzentrale zugewiesen. Dieser liegt am Südende im Untergeschoß. Die fünf am weitesten entfernt liegenden Wohnungen (ca. 80 m) wurden nicht an die GW-Leitung angeschlossen, sodass nur 18 Wohnungen GW liefern. Anfang 2018 wurde der Betrieb aufgenommen. Zwischen GW-Anlage und der Heizzentrale liegt zudem eine Distanz von etwa 20 m.



Abb.3) Wohngebäude der SGN mit Pilotanlage zur Grauwasserwärmerückgewinnung

In der Reinigungsanlage wird das GW mit einer Temperatur von 25-40°C in den Vorbehälter (Sp1) geleitet. Dort werden Festkörperteilchen >1 mm mechanisch ausgefiltert und sinken zu Boden. Mittels Vakuumpumpe wird das vorgefilterte GW durch die beiden Belebungsbehälter und dort durch Membranfilter (<0,1 µm) gezogen. Dadurch wird es von Feststoffteilchen und Mikroorganismen befreit. Im Wasser gelöste Substanzen und Keime wie z.B. Viren werden aber nicht zurückgehalten. Aus diesem Grund ist eine Wiederverwertung als Nutzwasser zulässig, als Trinkwasser aber nicht.



Abb.4) Klärtanks zur mechanischen und biologischen Reinigung

Alle anorganischen und organischen Partikel >0,1 µm werden vom Membranfilter zurückgehalten. Die entstehende Biomasse (Klärschlamm) wird mit der jährlichen Wartung entfernt. Abbildungen der einzelnen Baukomponenten der Installation sind auf Seite 7 ersichtlich.

Das biologisch gereinigte GW-Filtrat wird in einem Vorratsbehälter (Sp2) gesammelt und in die 20 m entfernte Heizzentrale zum dort befindlichen Plattenwärmetauscher gepumpt.

Im Heizraum befindet sich der Plattenwärmetauscher, der sich aufgrund seiner großen Tauscherflächen für die Wärmeübertragung auf das Frischwasser sehr gut eignet. Das Filtrat gibt seine Wärme an das einströmende, kalte Frischwasser ab und erwärmt dieses auf bis zu 2°C unter dem Temperaturniveau des GW-Filtrats. Der Übertragungswirkungsgrad liegt bei >90 %. Danach wird das auf etwa 20°C abgekühlte GW-Filtrat in den Kanal geleitet. Die Überhitzung des vorgewärmten Warmwassers auf über 60°C erfolgt durch Fernwärme. Die Überhitzungstemperatur entspricht den rechtlichen Hygienestandards (Schutz vor Legionellen).

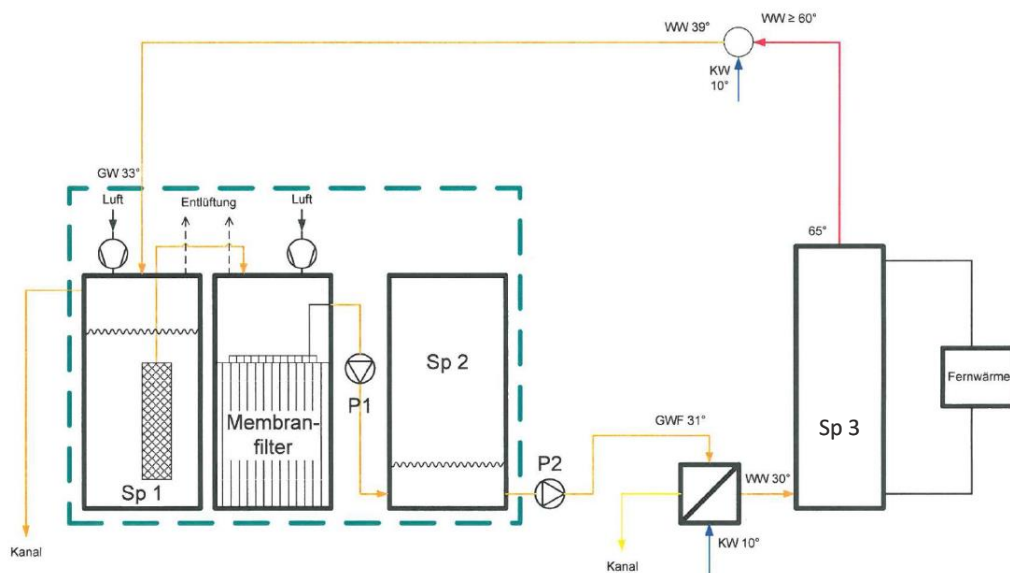


Abb.5) Funktionsschema der Grauwasser-Wärmerückgewinnung

Nachdem mit der biologischen Reinigung fachliches Neuland betreten wurde und die Reinigungsleistung noch nicht genau eingeschätzt werden konnte, wurde die Anlage großzügig dimensioniert. Nach den ersten Erfahrungen würde vermutlich die Hälfte an Kapazität, sowohl bei den Klärtanks als auch für die Pufferspeicher (Sp2) genügen.

5. Mess- und Regeltechnik

Die Belebungsanlage, welche im Schema in Abb.5 mit grün-strichlierter Linie gekennzeichnet ist, arbeitet selbstständig und wird geleitet durch den Grauwasseranfall. Mehr oder weniger GW-Filtrat wird von den beiden der Reinigung nachgelagerten Pufferspeichern (Sp2) aufgenommen. Eine Förderpumpe (P2) ist an einen Drucksensor beim Kaltwassereintritt gekoppelt, der ausgelöst wird, wenn im Gebäude Warmwasser gezapft wird. Die Pumpe befördert das GW-Filtrat zum Wärmetauscher, um das sekundärseitig einfließende Kaltwasser vorzuwärmen, bevor es in den Warmwasserspeicher (Sp3) geleitet wird. Ziel ist, das Grauwasser als Wärmequelle zeitgleich mit dem einfließenden Kaltwasser in den Wärmetauscher zu schicken, um so die Wärmeübertragung zu ermöglichen.

Die für die Reinigung notwendigen Bauelemente umfassen neben den Klärtanks (siehe Abb. 4 auf Seite 6) auch Lüfter, eine Vakuumpumpe (Abb. 6), zwei Pufferspeicher (Abb. 7) ein Durchflussmessgerät (Abb. 8) und die Steuerung (Abb. 9). Zur Wärmerückgewinnung wurde ein Plattenwärmetauscher (Abb. 11) samt zugehörigen Leitungen (Abb. 10) eingebaut, welcher im letzten Schritt zu einem Warmwasserspeicher (Abb. 12) führt.



Abb.6) Vakuumpumpe



Abb.7) Zwei Pufferspeicher aus Edelstahl (Sp2)

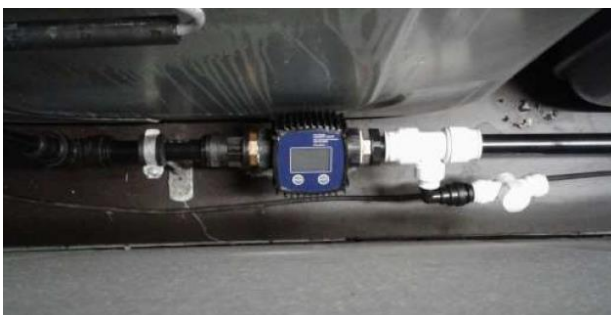


Abb.8) Durchflussmessgerät



Abb.9) Steuerung



Abb.10) Zulauf von Kaltwasser und
Grauwasser-Filtrat zum
Plattenwärmetauscher



Abb.11) Plattenwärmetauscher



Abb.12) Warmwasserspeicher (Sp3)

Um ein Bild von der Arbeit der Pilotanlage zu gewinnen, werden mehrere Parameter laufend erfasst. Beispielhaft wird in Abb.13 auf Seite 9 der Tagesverlauf mit den gemessenen Werten dargestellt. Folgende Parameter werden bei der Anlage erfasst:

- PINK: Grauwasserpumpe Betriebszustand (AN/AUS)
- GRÜN: Temperatur Grauwasser Eingang Reinigungsanlage (°C)
- BLAU: Volumenstrom Wärmetauscher Grauwasser (l/h)
- SCHWARZ: Temperatur Grauwasser vor Wärmetauschereingang (°C)
- ROSA: Temperatur Grauwasser nach Wärmetauscheraustritt (°C)
- TÜRKIS: Volumenstrom Wärmetauscher Kaltwasser (l/h)
- ORANGE: Temperatur Kaltwasser vor Wärmetauschereingang (°C)
- BRAUN: Temperatur Kaltwasser nach Wärmetauscheraustritt (°C)
- LILA: Volumenstrom Überlauf Pufferspeicher (l/h)
- HELLORANGE: Temperatur Überlauf (°C)
- HELLGRÜN: Druck Pufferspeicher (bar)

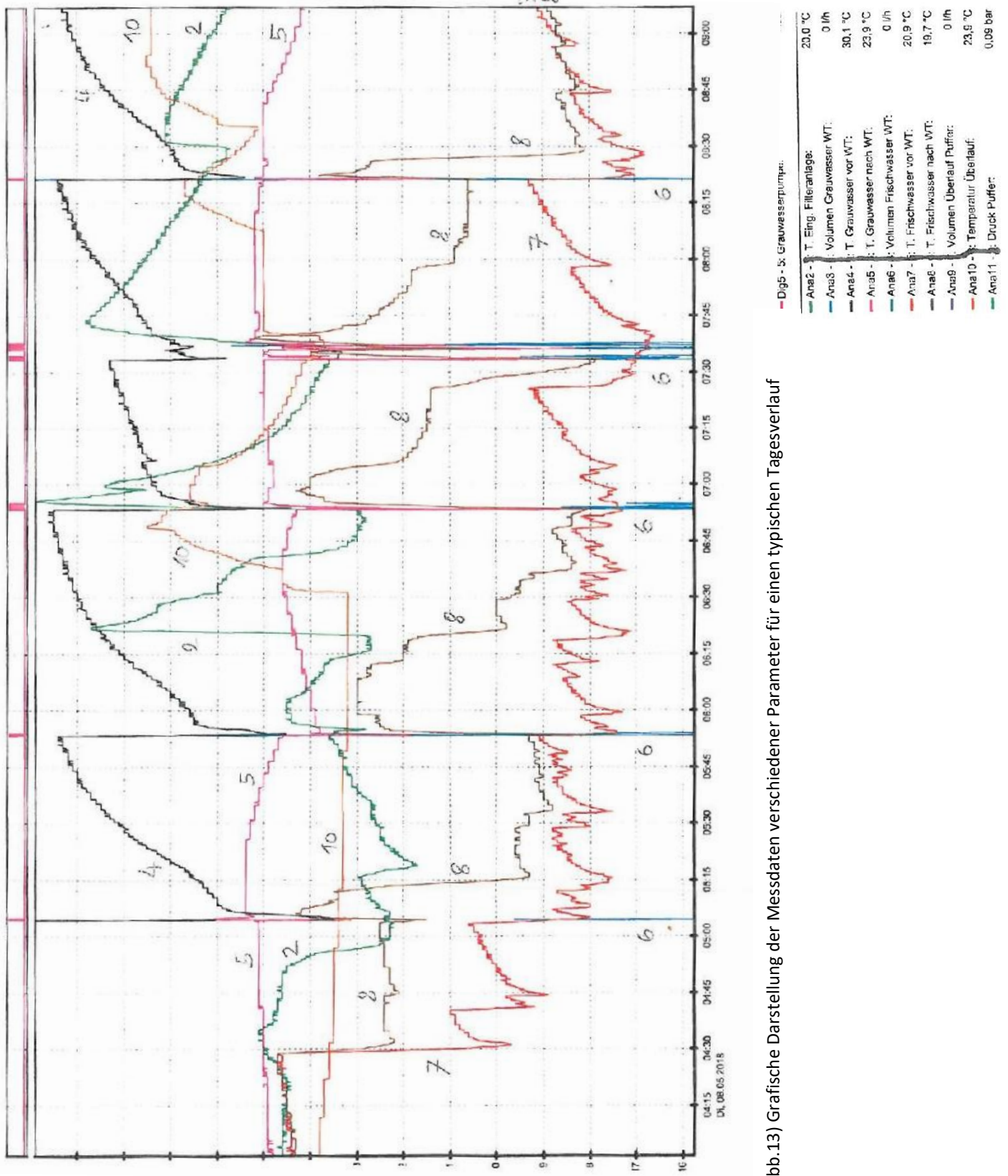


Abb.13) Grafische Darstellung der Messdaten verschiedener Parameter für einen typischen Tagesverlauf

6. Messergebnisse

Abbildung 14 zeigt die Eintrittstemperaturen des GW in die Reinigungsanlage am 08.05.2018 als Beispieltag, beginnend abends. Man sieht, dass die größte GW-Menge – gekennzeichnet durch die Temperatur - zwischen 19:00 und 23:00 angefallen ist. Die Temperaturspitze von 38°C wurde zwischen 21:00 und 22:00 erreicht. Im Mittel lag die GW-Temperatur am Abend bei 33°C. Am Vormittag wurde weniger Warmwasser gebraucht als am Abend und die Zapfintervalle liegen auch weniger dicht beieinander.

Es kann daraus abgeleitet werden, dass abends länger geduscht und mehr gebadet wird. Wahrscheinlich werden auch Waschmaschine und Geschirrspüler am Abend eingeschaltet.

Um zu überprüfen, wie groß der Temperaturverlust durch die relativ langen GW-Sammelleitungen tatsächlich ist, wurde ein Test mit zwei vollgefüllten Badewannen (auf etwa 40°C) durchgeführt. Einmal lag die Wohnung dabei direkt über der Wärmerückgewinnungsanlage und die andere lag am weitest entfernten Anschlusspunkt. Das Ergebnis des Versuchs war eine Temperaturdifferenz von etwa 5-7°C. Die langgestreckte Bauweise der Liegenschaft wirkt sich demnach mit 5-7°C nachteilig auf das Wärmerückgewinnungspotential der Pilotanlage aus.

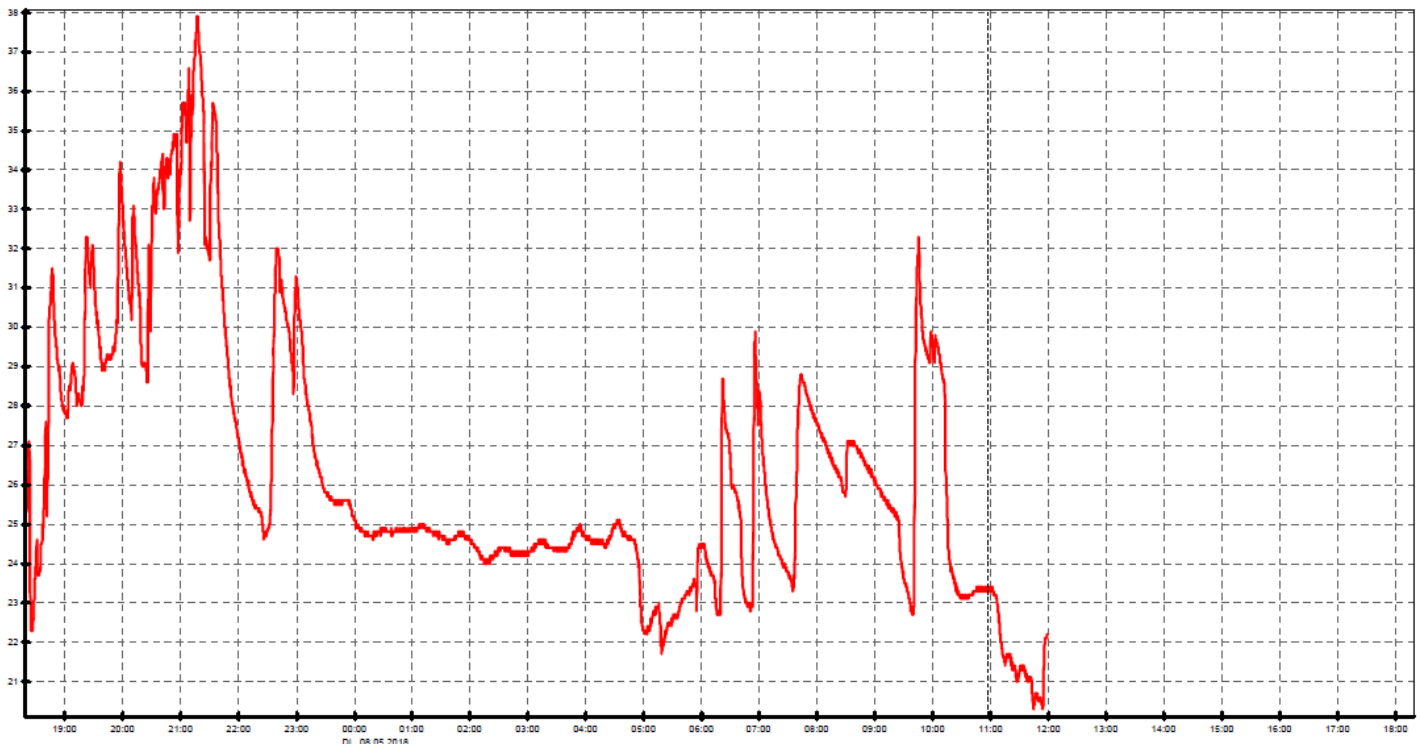
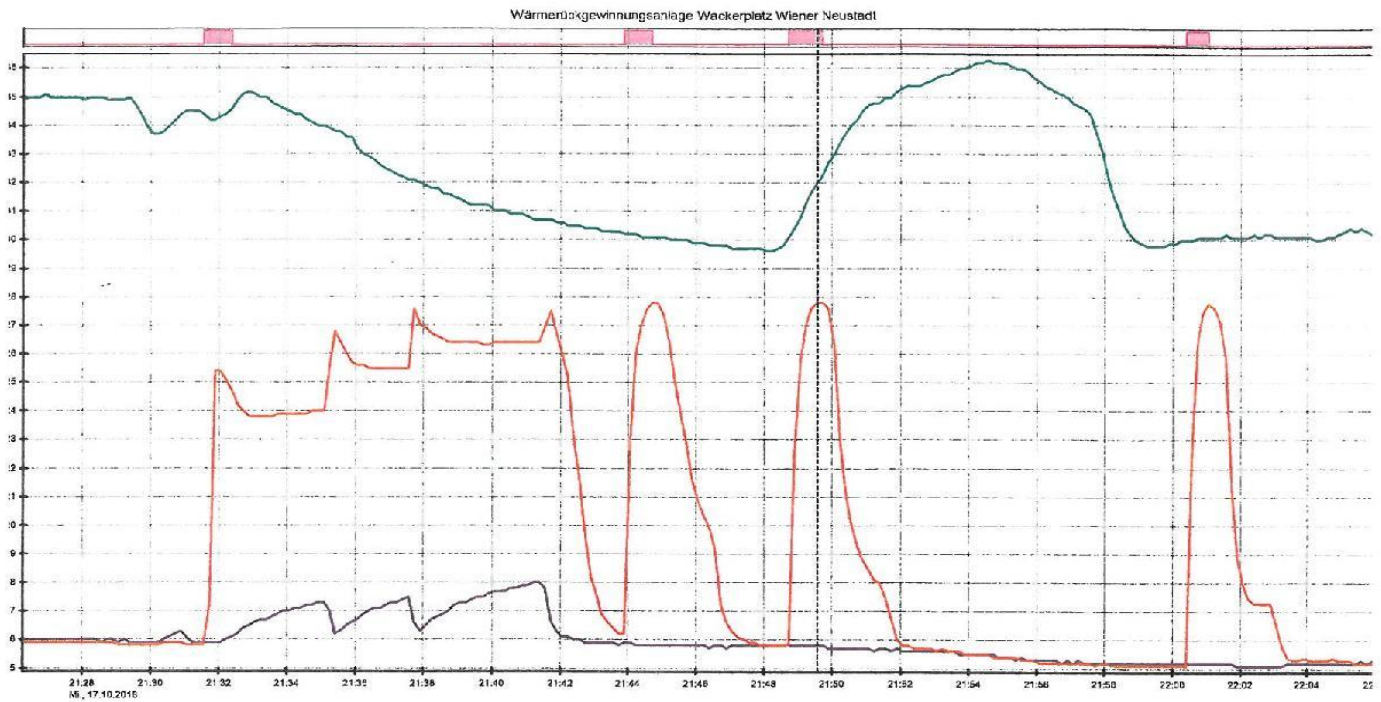


Abb.14) Temperaturmessungen des Grauwassers in einem typischen Tagesverlauf, beginnend mit 18:00

Um die Wärmeübertragungsleistung des Wärmetauschers darzustellen, wird ein Zeitintervall betrachtet, indem erwartungsgemäß viel Grauwasser angefallen ist, nämlich zwischen 21:30 und 22:30. Abbildung 15 zeigt die Temperaturverläufe des Kaltwassers vor dem Eintritt in den Wärmetauscher (LILA) und nach dem Austritt aus dem Wärmetauscher (ORANGE). Die entsprechenden Temperaturen des GW bei Eintritt in die Reinigungsanlage sind in GRÜN abgebildet.

Bei zu kurzen Zapfintervallen erreicht das Grauwasser jedoch den Wärmetauscher nicht rechtzeitig oder verliert einen erheblichen Wärmeanteil durch das Erwärmen der Systemteile. Eine beispielhafte Abbildung von Zapfintervallen und –mengen ist in Abbildung 16 dargestellt.



Mi., 17.10.2018

21:49:34

— Dig5 - 5: Grauwasserpumpe:	Ein
— Ana2 - 2: T. Eing. Filteranlage:	32,0 °C
— Ana3 - 1: Volumen Grauwasser WT:	
— Ana4 - 2: T. Grauwasser vor WT:	
— Ana5 - 3: T. Grauwasser nach WT:	
— Ana6 - 4: Volumen Frischwasser WT:	
— Ana7 - 5: T. Frischwasser vor WT:	15,8 °C
— Ana8 - 6: T. Frischwasser nach WT:	27,8 °C
— Ana9 - 7: Volumen Überlauf Puffer:	
— Ana10 - 8: Temperatur Überlauf:	
— Ana11 - 9: Druck Puffer:	

Abb.15) Temperaturmessungen von Grauwasser und Frischwasser bei Durchlauf durch den Wärmetauscher

Di., 08.05.2018
10:57:09

— Dig5 - 5: Grauwasserpumpe: Ein
 — Ana3 - 1: Volumen Grauwasser WT: 2,048 l/h
 — Ana6 - 4: Volumen Fließwasser WT: 0 l/h
 — Ana9 - 7: Volumen Überlauf/ Puffer: 0 l/h

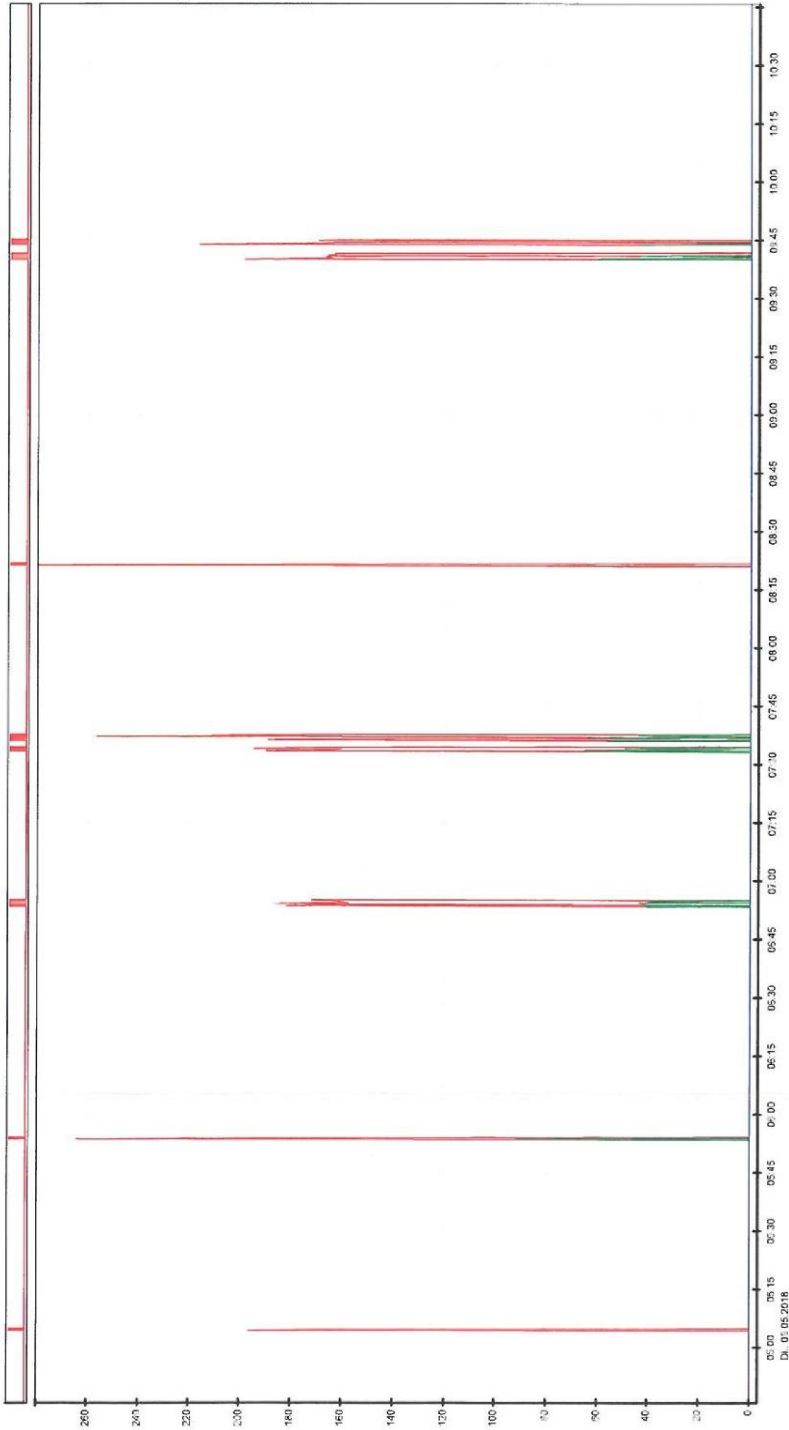


Abb.1.6) Typische Zapfintervalle während eines Vormittags

7. Energetische Betrachtung: Wärmerückgewinnung

Um das Ausmaß der Energieeinsparung durch die Rückgewinnung von Wärme aus dem gesammelten GW feststellen zu können, wurde ein Wärmemengenzähler am Wärmetauscher angebracht. Dieser misst die übertragene Wärmemenge während dem Durchfluss des neu einfließenden Kaltwassers durch den Wärmetauscher. In 12 Betriebsmonaten 2018/19 wurde dabei eine übertragene Wärmemenge von 2826 kWh gemessen. Messfehler aufgrund von Trägheiten sind wahrscheinlich. Die tatsächlich übertragene Wärmemenge dürfte bei 4 000 kWh liegen.

Nachdem das Wärmerückgewinnungspotential um ein Vielfaches größer ist und in der Größenordnung von 10 000 kWh liegt, wurden die möglichen Ursachen und Hintergründe für dieses Messergebnis ergründet. Das theoretische Potential von etwa 10 000 kWh berechnet sich aufgrund der Annahme von 1 800 täglich anfallendem GW-Filtrat mit einer Temperatur von durchschnittlich 26°C. Dies entspricht 45 l pro Person und Tag. Der Durchschnitt in Österreich sind 60 l GW pro Person und Tag. In der Pilotanlage ist jedoch bei den Messungen ein stark unterdurchschnittlicher Warmwasserverbrauch festgestellt worden. Im Jahresmittel wurde eine Frischwassertemperatur von 14°C angenommen.

Nachdem die Messung nur knapp ein Drittel des theoretisch vorhandenen GW-Wärmepotentials als energetischen Gewinn durch Vorwärmen des neu einfließenden Kaltwassers ergeben hat, wurden Hintergrundanalysen durchgeführt. Folgende Gründe dürften für das abweichende Messergebnis ausschlaggebend sein:

- In den Wohnungen wird unterdurchschnittlich wenig Warmwasser verbraucht. So wurden beispielsweise im Mai tägliche Warmwasserverbräuche zwischen 200 und 500 l 60°C Warmwasser gemessen. Diese Werte liegen bei der Hälfte des österreichischen Durchschnitts.
- Die langen Leitungswege der Sammelleitungen führen zu einem Temperaturverlust des GW.
- Viele kurze Zapfintervalle lassen keine effiziente Wärmeübertragung zu, da das GW über einen 20-m-langen Zulauf zum Wärmetauscher geleitet wird. Bis das etwa 26°C warme GW-Filtrat den Plattenwärmetauscher erreicht, ist der Zapfvorgang oft bereits beendet und die Wärme heizt eigentlich nur die 20-m lange Leitung und den kalten Wärmetauscher.
- Die Messgeräte können Ungenauigkeiten aufweisen und könnten nicht optimal situiert worden sein.

8. Erkenntnisse

a. Biologische Reinigung erfolgreich: Die Anfang 2018 in Betrieb genommene Anlage ist bis heute, ganz besonders im Hinblick auf die Belebungsanlage, einwandfrei gelaufen. Damit ist das wesentliche Ziel, nämlich das mit Frachtstoffen belastete Grauwasser so zu reinigen, dass es ohne Probleme und effizient in einem Plattenwärmetauscher zur Erwärmung des Frischwassers eingesetzt werden kann, erreicht. Die Umsetzung der Idee in die Praxis ist damit gelungen.

b. Reinheitsgrad des GW-Filtrats: Das biologische gereinigte GW (GW-Filtrat) ist optisch vollkommen klar und sieht mit freiem Auge aus wie Leitungswasser. Auch über ein Jahr alte Proben, konserviert in luftdicht verschlossenen Gläsern, zeigen keine Veränderung. Dies weist auf die Möglichkeiten zur stofflichen Verwertung hin.

c. Wartungsintervalle: Es hat sich herausgestellt, dass die Wartungsintervalle der Belebungsanlage mit einmal im Jahr nicht ausreichen. Es wird eine halbjährliche Wartung empfohlen. Grund für den erhöhten Reinigungsbedarf ist aller Wahrscheinlichkeit nach der Durchsatz von Grauwasser aus der Küche (Spüle/Geschirrspüler), welches mit schwer abbaubaren Lebensmittelresten wie z.B. Ölen belastet ist. Diese beeinträchtigen die Reinigungsleistung der Anlage wesentlich.

Da der Nachteil durch die starke Verunreinigung für das System größer scheint, als der energetische Nutzen des zusätzlichen Grauwassers, wird künftig davon abgesehen, Grauwasser aus dem Küchengebrauch zur Wärmerückgewinnung einzubringen.

d. Plattenwärmetauscher: Es wurden alle Leitungen und baulichen Aggregate in Edelstahl ausgeführt, auch der Plattenwärmetauscher. Dennoch ist dieser nach ungefähr eineinhalb Jahren defekt geworden. Es hat sich gezeigt, dass das Lot durch das GW-Filtrat angegriffen wurde - optisch erkennbar an der Grünspanbildung. Diese Erkenntnis überrascht. Derzeit im Labor beauftragte Wasseranalysen sollen Aufhellung bringen. In jedem Fall ist es geboten, alle Werkstoffe auf diese Problematik hin zu untersuchen. Als Lösung prüfen wir einen geschraubten Plattenwärmetauscher einzubauen.

e. Zusatznutzen Kühlung: Aufgrund der positiven Praxisbestätigung durch die Pilotanlage im SGN Wohnbau verfolgt STREBEL die Weiterentwicklung der Technologie. Das abgekühlte GW-Filtrat erreicht im Pilotverfahren eine Temperatur von ca. 20°C und enthält damit noch immer Wärme, die in einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe bis auf nahe dem Gefrierpunkt entzogen werden kann. Die so gewonnen Wärme kann dann zur Überhitzung des vorgewärmten Warmwassers auf 60°C verwendet werden. Darüber hinaus könnte das nahe dem Gefrierpunkt kalte Filtrat auch zur Raumkühlung oder zu anderen Kühlzwecken (z.B. Kühllager) eingesetzt werden.

f. Zusatznutzen WC-Spülwasser: Der unerwartet hohe Reinheitsgrad des gefilterten Grauwassers ermöglicht eine Zweitnutzung des Wassers als WC-Spülung. Dies ist besonders für Regionen mit Wasserknappheit lohnend, wie Südspanien, Südafrika, Brasilien, etc. Der wirtschaftliche Wassergewinn durch die stoffliche Verwertung des GW ist abhängig von den jeweiligen Ver- und Entsorgungspreisen und liegt bei uns in der Größenordnung des Wärmegewinns. In ariden Gegenden dürfte der stoffliche Wassergewinn überwiegen.

g. Zusatznutzen Bauwerksbegrünung: Das GW-Filtrat kann auch eine Verwendung als Gießwasser erfahren. Ob das Reinigungsverfahren eine ausreichende Wasserqualität dafür gewährleistet, wird derzeit in einem FFG Forschungsprojekt (greenWATERrecycling) mit der Universität für Bodenkultur Wien als Forschungspartner analysiert. Auch welche Pflanzenarten mit dem GW am besten versorgt werden könnten wird untersucht. Ein praktischer Pflanzversuch mit ausgewählten Sorte wird über den Sommer 2020 laufen.

h. Sanierungspotential: Der Energieverbrauch von alten Gebäuden ist um ein Vielfaches höher als von Neubauten. Eine energetische und thermische Sanierung ist meist nur durch Abriss und Neubau möglich. Allerdings stehen insbesondere in Wien viele Gebäude unter Denkmalschutz und das Stadtbild soll aufrechterhalten werden. Daher wird in einem aktuellen Forschungsprojekt der FFG (QUEEN GUDRUN II) demonstriert, wie ein Altbau durch komplette Innensanierung zukunftsfit gemacht werden kann, wobei auch das STREBEL Verfahren zum Einsatz kommt. Unser Fokus liegt dabei auf der synergetischen Nutzung der wiedergewonnen Wärme und des gereinigten Grauwassers, also der gekoppelten thermischen und stofflichen Verwertung des GW.

Das vielseitig nutzstiftende Verfahren wird in dem beigelegten STREBEL Prospekt „Energetische und stoffliche Grauwasserverwertung“ umfassend beschrieben.

Energetische und stoffliche Grauwasserverwertung

Kurzfassung



Fotos: Designed by jigsawstocker, Mrsiraphol, Kaboompics – Freepik

Strebelwerk GmbH

Wiener Straße 118
2700 Wiener Neustadt
ÖSTERREICH
Telefon +43 (0)2622 235 55-0
Fax +43 (0)2622 253 46
Mail verkauf@strebel.at

mehr unter www.strebel.at



Grauwasser – Definition

Unter Grauwasser versteht man laut EN 12056-1 *fäkali-enfreies Abwasser, das beim Duschen, Baden oder Hände-waschen anfällt, aber auch aus der Waschmaschine und dem Geschirrspüler kommt.*

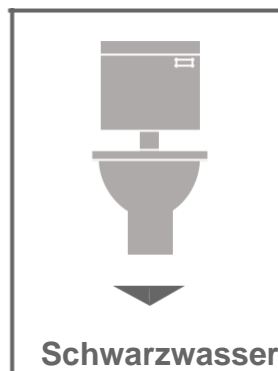
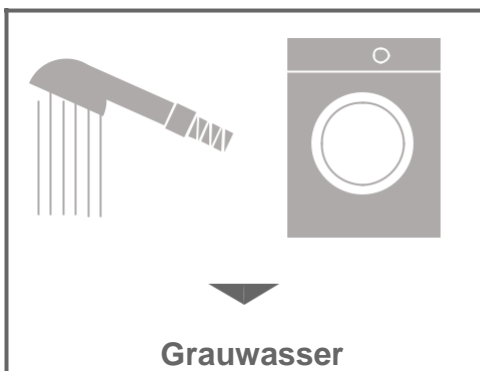
Der tägliche Wasserverbrauch beträgt ca. 100 Liter je Bewohner. 40 Liter davon entfallen auf kaltes Nutzwasser, z.B. WC und 60 Liter werden zu Grauwasser.

Das abfließende Grauwasser hat in der Regel eine Temperatur zwischen 25°C und 40°C. Demnach ist die Tem-

peratur im Vergleich zum Kaltwasser signifikant höher und bietet sich als Wärmequelle an.

Im Gegensatz zu **Grauwasser** ist **Schwarzwasser** fäkalienbelastet und enthält keine nutzbare Restwärme. Es wird auch ohne Umwege in die Kanalisation geleitet.

Um die Wärme aus dem Grauwasser gewinnen zu können, muss es in einem eigenen Leitungsnetz gesammelt werden.



Richtwert
60 Liter Grauwasser mit 38°C ergeben sich aus:
22 Liter Warmwasser mit 60°C
+
18 Liter Kaltwasser mit 10°C
+
20 Liter mit 38°C
aus Waschmaschine, Geschirrspüler etc.

STREBEL-Grauwasserverwertung

Problematisch bei Grauwasser ist die Belastung mit Feststoffpartikeln, Fetten, Seifen, Emulsionen etc. Diese verhindern die wartungsfreie Wärmeübertragung der Restwärme im Grauwasser auf ein anderes Medium (z.B. Kaltwasser).

Um Verstopfungen zu vermeiden, leiten bekannte Verfahren z.B. das Grauwasser großvolumig (mit großen Querschnitten) über Wärmetauscherflächen und schlämmen die abgesetzten Verschmutzungen von Zeit zu Zeit ab. Ein sehr mäßiger Übertragungswirkungsgrad ist die Folge und die ständige Wartung erfordert einen hohen Aufwand.

Die Idee des **STREBEL**-Verfahrens basiert darauf, dieses Problem an der Ursache zu lösen, indem das Grauwasser mechanisch und biologisch gereinigt wird, um ihm in effizienten Plattenwärmetauschern die Wärme zu entziehen.

Die Reinigung erlaubt eine nachgelagerte stoffliche Verwendung des Filtrates als Nutzwasser für die WC-Spülung, Waschmaschine, Pool oder Gartenbewässerung.

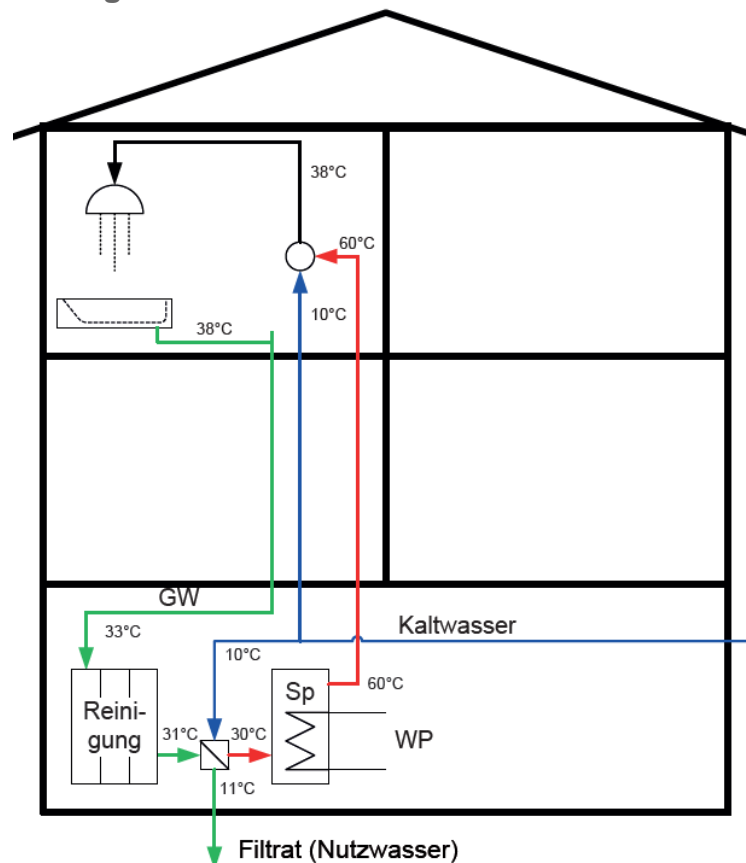
Reinigung und Filtrierung

Die wesentliche Reinigung des Grauwassers erfolgt beim **STREBEL**-Verfahren durch einen biologischen Abbau der Schmutzfrachten mittels „bakterieller Belebung“.

Dies geschieht in zwei Behältern. Im Vorbehälter (Absetztank) **Sp1** werden aus dem Grauwasser (ca. 33°C) Festkörperteilchen > 1 mm mechanisch ausgefiltert und sinken zu Boden. Der Vorbehälter dient auch als Pufferspeicher für das diskontinuierlich und zeitverzögert anfallende Grauwasser und ebenfalls zur „Vorbelebung“. Das vorgereinigte Grauwasser wird in dem mit Luftsauerstoff versorgten Belebungsbehälter mit Membranfilter übergeführt. In diesem bauen gezielt eingebrachte Bakterien mittels Belebung die organischen Schmutzfrachten ab.

Der biologische Reinigungsprozess ist eine Kombination von Nitrifikation und Denitrifikation der im Abwasser enthaltenen Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen. Die Reinigungsleistung beträgt 99%. Die Abgase (vornehmlich CO₂ und H₂O) werden über die Entlüftung abgeführt.

Prinzip Grauwasserverwertung



Das so mechanisch und biologisch gereinigte Grauwasser wird durch die Membranfilter ($< 0,1 \mu\text{m}$) mittels Ladepumpe **P1** abgesaugt und in den Pufferspeicher **Sp2** eingelagert. Das die Membranen passierende Filtrat ist vollständig keimfrei und von partikulären Stoffen befreit. Im Wasser gelöste Substanzen werden jedoch nicht zurückgehalten. Aus diesem Grund ist eine Wiederverwertung als Nutzwasser zulässig, als Trinkwasser jedoch nicht. Das Filtrat ist aber vollkommen klar, speicherfähig wie Wasser etc.

Alle verbleibenden organischen und anorganischen Feststoffe $> 0,1 \mu\text{m}$ werden am Membranfilter zurückgehalten. Die entstehende Biomasse (Klärschlamm) wird mit der jährlichen Wartung entfernt.

Wärmeübertragung mit Plattenwärmetauscher

Der technische Lösungsansatz basiert auf dem Einsatz eines Plattenwärmetauschers, welcher aufgrund der großen Tauscherflächen für die Wärmeübertragung Wirkungsgrade von $>95\%$ erzielt.

Im Plattenwärmetauscher gibt das Filtrat seine Wärme an das einströmende Kaltwasser (z. B. 10°C) ab und erwärmt dieses auf 30°C . Das gekühlte Filtrat gelangt

mit ca. 20°C in die Wasser/Wasser-Wärmepumpe (COP $>5,0$). Das auf 30°C vorgewärmte Warmwasser wird im Speicher **Sp3** auf 60°C (Legionellen) erhitzt. Dabei kühlt das primärseitig eingespeiste Filtrat auf $\geq 3^\circ\text{C}$ ab.

Dieses Kältepotential kann z.B. in einer Kühldecke im Sommer zur Raumkühlung genutzt werden oder ganzjährig in einem Kühlraum. Das so genutzte Filtrat wird in einem Behälter gesammelt und kann als Nutzwasser für WC-Spülung, Pool, Gartenbewässerung und auch zum Wäschewaschen eingesetzt werden.

Mit diesem Verfahren kann die rückgewonnene Wärme das 10°C -Kaltwasser auf 60°C erwärmen. Diese liegt in der Größenordnung des Heizwärmebedarfs.

Die Zirkulationsverluste müssen durch eine externe Wärmequelle – z.B. Brennwertkessel, Luft-Luft-Wärmepumpe, Fernwärme etc. – gedeckt werden. Diese externe Wärmequelle stellt gleichzeitig eine Ausfallsicherheit dar.

Das Verfahren ist in Wohngebäuden wirtschaftlich ab 50 Personen einsetzbar. Weitere Anwendungsgebiete sind: Hotel- und Gastronomieanlagen, Sportstätten, Campingplätze, die Lebensmittelindustrie und im weiteren Sinn Wärmerückgewinnung aus Abwässern.

