

fbr - wasserspiegel

Zeitschrift des fbr - Bundesverband für Betriebs- und Regenwasser e. V.

4/21



100.
Ausgabe



Abbildung 1: Blick auf das 2016 errichtete Passivhaus in der Frankfurter Salvador-Alendende-Straße Quelle: ABG, Herbert Kratzel

Grauwasser

Eine Ressource mit sehr viel Potential

Erwin Nolde

Das Abwasserrohr ist bei modernen Gebäuden mit hohem Energiestandard das größte Wärmeleck. Zugleich geht hier auch Wasser den Kanal hinunter, das nach entsprechender Behandlung noch sinnvoll genutzt werden könnte. Hier liegen buchstäblich mehrere Potenziale begraben. An einem Passivhausprojekt in Frankfurt a. M. wurden Anlagen für die Wärmerückgewinnung und das Grauwasserrecycling installiert und in der Praxis erforscht. Ein Rück- und Ausblick nach vier Jahren Betriebsfahrungen.

Der Klimawandel und die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung stellen die Gesellschaft vor große Herausforderungen. Unter den 17 UN-Zielen der Sustainable Development Goals (SDGs), die für alle Staaten gelten, nimmt das Thema Energie, Klima und Wasser den zweiten Rang ein.[1]

Von der Wohnungswirtschaft wird momentan sehr viel verlangt. Deren Gebäude sollen bis 2050 CO₂-neutral und die Mieten auch für Menschen mit geringeren Einkommen bezahlbar sein.

Der Bestand soll altersgerecht umgebaut und eine hohe Wohnqualität garantiert werden. Sie soll ferner einen Beitrag für eine gute Nachbarschaft und sozialen Frieden leisten, schwarze Zahlen schreiben und gerade auch mit Blick auf die zukünftige Werterhaltung ausgerichtet sein. Damit die Gebäude langfristig ihren Wert behalten, kommt es gerade jetzt auf die richtige Weichenstellung an. In modernen Wohngebäuden mit hohem Energiestandard wird über die gesamte Außenhülle weit weniger Wärme an die Umwelt abge-

geben als über das Abwasserrohr. Dass ein Mehrfamilienhaus einerseits von allen Seiten sehr aufwändig mit 25 cm Dämmung eingehüllt wird und andererseits durch das für die Wärmebilanz ebenso wichtige, im Durchmesser nur 15 - 20 cm schmale Abwasserrohr große Mengen Wärme völlig ungehindert an die Umwelt abgeben kann, ist absolut inkonsequent.

Auch die Wasserwirtschaft wird mit diversen Herausforderungen konfrontiert. Sie rechnet durch den Klimawan-

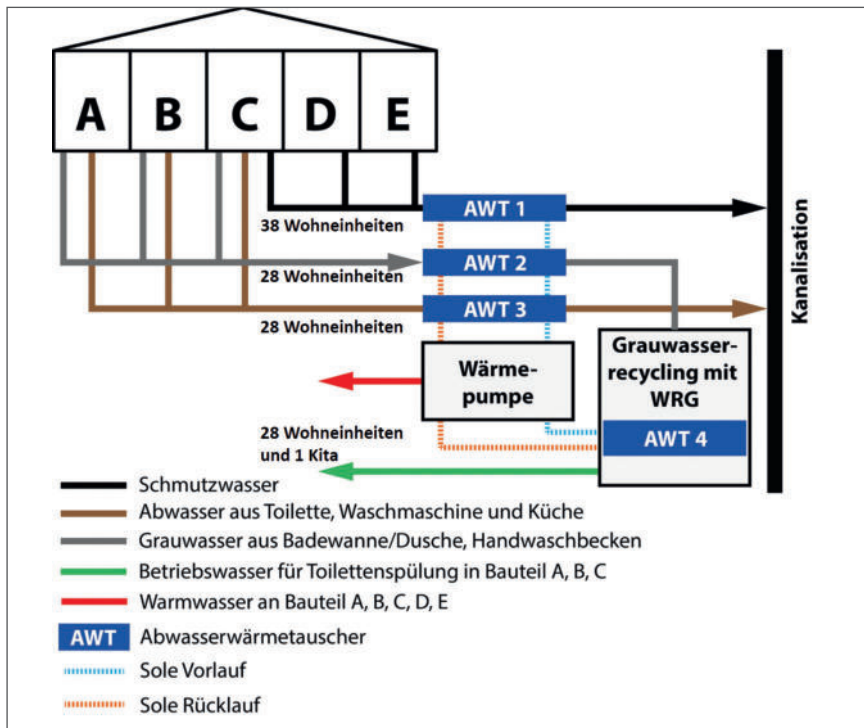


Abbildung 2: Wärmerückgewinnung und Grauwasserrecycling. Zuordnung zu den jeweiligen Bauteilen der Salvador-Allende-Straße

Tabelle 1

Daten zum Gebäude		
Wohnfläche	6.161 m ²	insgesamt 66 WE mit je 51 bis 123 m ²
davon	2.676 m ²	28 WE und Kita mit Betriebswassernutzung
Fertigstellung	11/2016	nach Passivhausstandard
Photovoltaik	10 kW _{peak}	

del mit mehr und zugleich längeren Trockenzeiten und daher mit einem steigenden Trinkwasserbedarf, der vielerorts nicht aus dem eigenen Einzugsbereich gedeckt werden kann. Sie bedient sich deshalb dem Umland, wogegen es zahlreiche Proteste gibt. [2]

Ferner – und das ist weniger bekannt – gehört der Wassersektor schon jetzt zu den größten kommunalen Stromverbrauchern. [3] Allein die Berliner Wasserbetriebe benötigen mehr Strom als eine Stadt mit 300.000 Einwohnern an Haushaltsstrom. Es gilt zudem als sicher, dass der Primärenergiebedarf, trotz einiger Energiesparmaßnahmen

durch zusätzliche Anforderungen an die Abwasserbehandlung (Abwasserfiltration, Desinfektion, Ozon- und Aktivkohlebehandlung usw.) in den kommenden Jahren nochmals signifikant steigen wird.

Die Betriebswassernutzung im Gebäude entlastet die Umwelt und bietet zugleich Vorteile für die Mieter sowie für die Wohnungs- und Wasserwirtschaft – insbesondere in Zeiten, in denen Spitzenbelastungen z. B. in Trockenzeiten abgefordert werden. Für Anwendungsfälle wie die der Garten- und Gründachbewässerung, aber auch für die WC-Spülung und das Wäschewaschen,

ist keine Trinkwasserqualität erforderlich. Allein die beiden letzteren machen jedoch nahezu 50 % des täglichen Haushaltswasserbedarfs aus. Abwassermeidung und -recycling – ganz nach dem Vorbild des Kreislaufwirtschaftsgesetzes [4], das bislang nur für feste Abfälle gilt, sollte zukünftig auch für Abwasser gelten. Bei konsequenter Weichenstellung müssen bereits im Gebäude die verschiedenen Abwasserströme in Grau- und Schwarzwasser getrennt werden. Nur so lässt sich das Grauwasser dezentral zu einem hochwertigen Betriebswasser aufbereiten und für Zwecke nutzen, die nicht zwingend mit Trinkwasserqualität zu bedienen sind.

Das über 30 °C warme Grauwasser aus Badewannen, Duschen, Handwaschbecken usw. sollte, statt die Abwasserleitungen und den Boden zu erwärmen, zur Vorerwärmung des kalten Trinkwassers genutzt werden, bevor es im Boiler weiter auf die erforderliche Endtemperatur erhitzt wird.

Die Frankfurter ABG Frankfurt Holding stellt sich den Herausforderungen, baut in Passivhausbauweise und versucht das letzte Wärmeloch – das Abwasserrohr – zu schließen. Im Rahmen des Forschungsprojekts networks 3 [5] wurden Investitionen für unterschiedliche Wärmerückgewinnungsvarianten aus Abwasser getätigt und für einen Teilbereich des Gebäudes auch das Grauwasserrecycling realisiert. Die Wärmerückgewinnung konnte anschließend über ein durch die DBU gefördertes Monitoring untersucht werden.

Dezentrale Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser

Die Wärmerückgewinnungs- wie auch die Grauwasserrecyclinganlage wurden im Mai 2016 als Forschungsanlagen installiert. Als individuell geplante, professionelle Anlagen können sie eine Lebensdauer von mindestens 30 Jahren erreichen. Für das Monitoring der anfallenden Abwassermengen wurden im Ablauf der Wärmetauscher (AWT 1

>>

bis AWT 3) zeitweise Messeinrichtungen installiert.

Die einzelnen Wärmeerntenn, die der Wärmepumpe über 4 voneinander unabhängige Wärmetauscher zugeführt werden, werden über Wärmemengenzähler erfasst und, ebenso wie weitere Parameter, elektronisch aufgezeichnet. Während die Wärmepumpe die Vorwärmung des Kaltwassers auf bis zu 40 °C übernimmt, sorgt ein nachgeschalteter Gasbrennwertkessel für die Erhitzung des Warmwassers auf mindestens 60 °C und gleicht Wärmeverluste aus, die durch die Warmwasserzirkulation entstehen.

Abbildung 2 illustriert die Installation zur getrennten Abwassererfassung in den einzelnen Gebäudeteilen und die Anordnung der einzelnen Wärmerückgewinnungsmodule. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die installierten Wärmetauscher, die dem Abwasser entnommene Wärme an eine Wärmepumpe abgeben.

Ergebnisse der Wärmerückgewinnung

Nach der Wärmemengenpotenzialabschätzung, die im Rahmen des Forschungsprojekts netWORKS 3 erfolgte, wurde davon ausgegangen, dass mit insgesamt 32,7 MWh ca. 25 % des auf 131 MWh geschätzten Warmwasserwärmebedarfs aus Abwasser gewonnen werden könnte. Abwasserwärmetauscher 1 (AWT 1 in DN 150; 12 Meter lang) soll aus dem Schwarzwasser 21,8 MWh/a bereitstellen und AWT 2 und AWT 3 (jeweils 6 m lang in DN 150) weitere 10,9 MWh/a.

Tabelle 2 zeigt, dass im Betrachtungszeitraum 2018 mit AWT1 (9 statt 21,8 MWh) nicht einmal halb so viel Wärme geerntet werden konnte, wie vorerst angenommen wurde. AWT 2 und AWT 3 blieben ebenfalls deutlich unter den Erwartungen. Der größte Wärmeertrag mit 11,5 MWh kam aus der ursprünglich nicht vorgesehenen, nachgeschalteten Wärmerückgewinnung der Grauwasserrecyclinganlage, die mit dem Abwasserwär-

Tabelle 2

Wärmeerträge der Wärmetauscher und Vergleich der Wärmeenergie aus Grau- und Gesamtabwasser (in kWh)				
Wärmeerträge aus Abwasser				
Jahr	AWT 1	AWT 2	AWT 3	AWT 4
2018	9.000	3.437	4.177	11.520
2019	14.300	4.695	5.832	10.206
2020	16.173	4.869	5.840	12.044
Wärmemengen	Wärme aus Grau- und Schwarzwasser aus 66 WE (Summe AWT 1, 2, 3, 4)	Wärme aus Gesamtabwasser aus 38 WE	Wärme nur aus Grauwasser aus 27 WE (AWT 2 + AWT 4)	
2018	28.134	9.000	14.957	
2019	35.032	14.300	14.900	
2020	38.925	16.173	16.913	



Abbildung 3: Außenansicht des gedämmten Rohrwärmetauschers AWT 2 als SML-Rohr mit ummanteltem Wärmetauscher

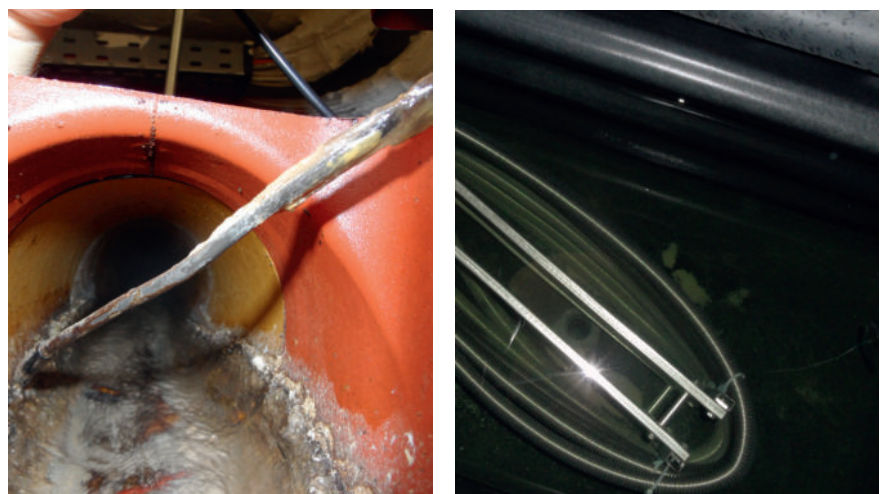


Abbildung 4: Innenansicht des gedämmten SML-Abwasserrohrwärmetauschers AWT 2 (links) und der im Betriebswasser getauchte Rohrwärmetaucher AWT 4 (rechts) nach ca. zweijährigem Betrieb

Tabelle 3

Spezifische Wärmeerträge der vier Abwasserwärmetauscher in 2017/2018				
Wärmeerträge pro m ³ Abwasser				
	AWT 1	AWT 2	AWT 3	AWT 4
kWh / m ³	2,75	4,29	2,79	14,39

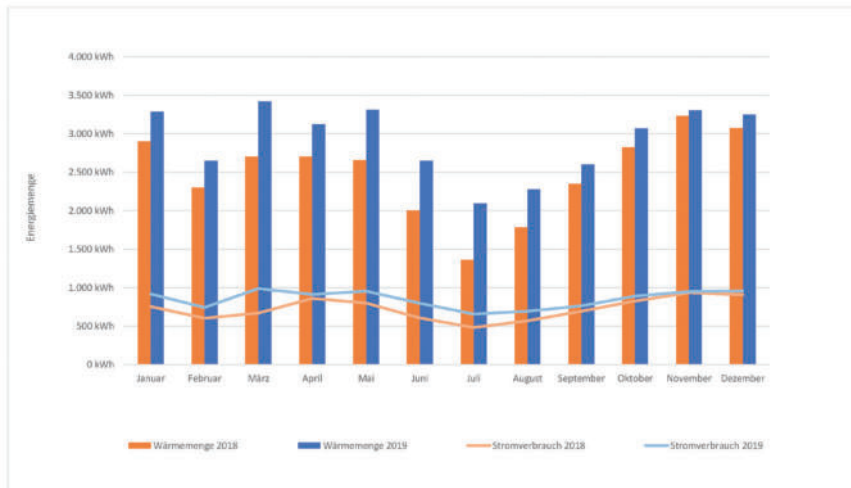


Abbildung 5: Wärmeenergie aus Energierückgewinnung 2018 und 2019 (Summen aus AWT 1 bis AWT 4) vor und nach einer Optimierung im September 2018

metauscher 4 lediglich die Restwärme nutzbar macht, die AWT 2 passieren lässt.

Die Wärmerückgewinnung aus dem Gesamtabwasser ist installations-technisch vergleichsweise einfach, erbrachte mit 38 angeschlossenen Wohneinheiten (WE) (AWT 1) mit nur 2,75 kWh/m³ aber nur die geringsten spezifischen Wärmeerträge. Den besten Wirkungsgrad unter den Rohrwärmetauschern AWT 1 bis AWT 3 (siehe Tab. 3) erzielte der Grauwasserwärmetauscher AWT 2 mit 4,29 kWh/m³. Obgleich das Grauwasser schon über AWT 2 abgekühlt war, konnte mit dem im Betriebswassertank eingebrachten nachgeschalteten Wärmetauscher AWT 4 mit 14,39 kWh/m³ mehr als drei Mal so viel Wärme geerntet werden. Insgesamt konnten dem Grauwasser 18,68 kWh/m³ entnommen werden.

Abbildung 5 zeigt, dass nach einer veränderten Kältemittelzuführung

zu den Rohrwärmetauschern im September 2018, im Jahr 2019 insgesamt höhere Wärmeerträge zu verzeichnen waren; In den Sommermonaten (wegen Urlaubszeiten und etwas höheren Kaltwassertemperaturen) lagen die Wärmeerträge niedriger als im Winter. Tabelle 4 zeigt, dass die monatlichen Wärmeerträge nach der Optimierung einiger Einstellungen ab September 2018 z. T. deutlich stiegen: in AWT 1 von 9.000 kWh (2017) über 10.400 kWh (2018) auf 14.300 kWh (2019) und 16.173 kWh (2020).

Ab 2019 wird der Planungszielwert von 32,7 MWh mit insgesamt 35 MWh Abwasserwärme erstmals sogar leicht überschritten. Dabei ist die der Grauwasserrecyclinganlage nachgeschaltete Wärmerückgewinnung AWT 4 wie zuvor am effizientesten und benötigte bis 2020 keinerlei Wartung. Mengemäßig entfällt auf AWT 4 lediglich das bereits vorab schon leicht abgekühlte Grauwasser aus 28 WE (s. a. Tabelle 4).

Als problematisch für die Hebeanlagen, die hier für Messzwecke den Wärmetauschern AWT 1 und 3 nachgeschaltet waren, erwies sich die Abkühlung der fetthaltigen Küchenabwässer. Wegen extrem starker Ablagerungen gingen die Pumpen der für Messzwecke installierten Hebeanlagen mehrfach auf Störung und mussten deshalb vorzeitig ausgebaut werden. Mit Blick auf Betriebssicherheit, Wartungsaufwand und Wärmeertrag sollte die Wärmerückgewinnung aus Küchen- und Waschmaschinenabwässern generell erst im Anschluss an die Grauwasserbehandlung vorgenommen werden.

Die Wärmepumpe hat – berechnet aus der dem Abwasser insgesamt entnommenen Wärmemenge und dem dafür erforderlichen Strombedarf in beiden Jahren – eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 4,43.

Dezentrales Wasserrecycling aus häuslichem Grauwasser

Bei der Planung ging man davon aus, dass in den 28 WE täglich ca. 3.000 l Grauwasser aus Duschen, Badewannen und Handwaschbecken anfallen und mit dem gereinigten Grauwasser (Betriebswasser) 28 Wohnungen und die Kita mit 10 MitarbeiterInnen und 60 Kindern versorgt werden können. Realisiert wurde eine Grauwasserrecyclinganlage gemäß Abbildung 7, die eine nachgeschaltete Wärmerückgewinnung im Betriebswassertank beinhaltet und mit der Wärmepumpe verbunden ist.

Die rein biologische Aufbereitung erfolgt über ein mehrstufiges Wirbelbett. Desinfiziert wird das hochwertig aufbereitete Wasser völlig chemikalienfrei mittels UVC-Licht. Das Betriebswasser ist klar, nahezu schwebstoff- und geruchsfrei. Dank der UV-Desinfektion liegen die Bakterienkonzentrationen des Betriebswassers deutlich unter den Hygieneanforderungen der EU-Richtlinie für Badegewässer und kann somit ohne hygienisches Risiko und Komfortverlust für die Mieter zur Toilettenspülung eingesetzt werden.

>>

Tabelle 4

Wärmeerträge der 4 unterschiedlichen Rückgewinnungsmodule - alle Angaben in kWh / Monat																
AWT 1: gesamtes Abwasser aus 38 Wohneinheiten (WE)																
AWT 2: Grauwasser aus 28 WE aus Duschen/Badewannen und Handwaschbecken aus dem Zulauf der Grauwasseranlage																
AWT 3: Toiletten-, Küchen- und Waschmaschinenabwasser aus 27 WE																
AWT 4: Grauwasser aus 28 WE aus dem Ablauf der Grauwasseranlage																
		Wärmemenge 2018							Wärmemenge 2019							
Monat		AWT 1	AWT 2	AWT 3	AWT 4	AWT 2 + AWT 4	gesamt	Stromverbrauch 2018	AWT 1	AWT 2	AWT 3	AWT 4	AWT 2 + AWT 4	gesamt	Stromverbrauch 2019	
1	Januar	900	400	500	1.100	1.500	2.900	755	1.400	434	547	907	1.341	3.288	917	
2	Februar	800	300	300	900	1.200	2.300	604	1.200	404	503	539	942	2.645	740	
3	März	900	300	400	1.100	1.400	2.700	668	1.300	437	542	1.141	1.578	3.420	988	
4	April	900	300	400	1.100	1.400	2.700	861	1.200	410	527	987	1.397	3.124	910	
5	Mai	800	265	419	1.174	1.439	2.658	798	1.300	433	561	1.018	1.451	3.313	954	
6	Juni	600	200	259	945	1.145	2.004	604	1.200	412	507	525	938	2.645	795	
7	Juli	300	139	169	751	890	1.358	481	700	315	362	718	1.033	2.095	657	
8	August	500	173	206	905	1.078	1.784	568	1.000	364	408	508	871	2.279	694	
9	September	800	360	342	844	1.204	2.346	692	1.000	341	406	855	1.195	2.601	762	
10	Oktober	1.200	434	453	737	1.171	2.824	827	1.300	377	471	923	1.300	3.071	890	
11	November	1.300	150	522	962	1.412	3.234	933	1.400	382	500	1.024	1.407	3.307	949	
12	Dezember	1.400	437	539	696	1.133	3.073	910	1.300	385	498	1.061	1.447	3.245	957	
Jahressummen		10.400	3.757	4.510	11.215	14.971	29.881	8.702	14.300	4.695	5.832	10.206	14.900	35.032	10.213	

Ergebnisse des Grauwasserrecyclings

Der tägliche Grauwasseranfall lag zunächst deutlich unter den ursprünglich angenommenen 3.000 l. Im Jahr 2018 wurden 2008 l/d und 2019 leicht vermindert 1.905 l/d gemessen. Der tägliche Betriebswasserbedarf lag bei 2.252 l/d in 2018 und leicht vermindert bei 2.177 l/d in 2019. Differenzen zwischen dem tatsächlichen Betriebswasserbedarf und der Menge an eingeleitetem und zugleich aufbereitetem Grauwasser können durch Trinkwassernachspeisungen (TWN) ausgeglichen werden.

Tabelle 5 zeigt, dass der Trinkwasserbezug durch die Betriebswassernutzung – allein für die Toilettenspülung – um bis zu 935 m³/a reduziert wurde. Werden Waschmaschinen, wie anderswo bereits erfolgreich praktiziert, in das Wasserrecycling einbezogen, könnte

das Recyclingpotenzial sogar nochmals um ca. 15 % steigen. Der wöchentliche Betriebswasserbedarf wird in Abbildung 10 von Anfang 2018 bis Ende 2020 vergleichend dargestellt.

Bis Ende September 2018 wurden wegen z. T. unvermieteter Wohnungen niedrige Grauwasserzuläufe in die Anlage registriert. Für vereinzelt außergewöhnlich hohe Trinkwassernachspeisungen waren in 2018 und 2019 defekte Spülkästen verantwortlich (2018 in KW 25 und 27 sowie 2019 in KW 45). Mehrfach wurde über ca. 10 h – ohne Unterbrechung – ein ständig erhöhter Betriebswasserstrom aufgezeichnet. Durch das automatisierte Monitoring werden erhöhte Wasserverbräuche sofort erkannt und gemeldet. Die Ursachen können damit zeitnah beseitigt werden. Die niedrigsten Verbräuche sind jeweils während

der Sommerferien zu verzeichnen. Als pandemiebedingt 2020 über längere Zeit im Homeoffice gearbeitet wurde und das öffentliche Leben stark eingeschränkt war, wurden über mehrere Wochen hinweg deutlich höhere Betriebswassermengen als in den vorangegangenen Jahren bereitgestellt (2,8 m³/d), ohne dass hierfür Trinkwasser nachgespeist werden musste.

Optimierungspotentiale an der Versuchsanlage

Die Auswertungen der Wärmeerträge zeigen, dass die vorgenommenen Änderungen an den Ventileinstellungen der Wärmerückgewinnung ab September 2018 in höheren Wärmeerträgen resultierten. Die Temperaturoaufzeichnungen machen ferner deutlich, dass die Wärmeerträge aus dem Grauwasser auch nach dieser Optimierung höher ausfallen könnten, sofern das Grau-

Tabelle 5

Wasserbezüge m ³	2018	2019	2020
TW-Bezug vom städt. Wasserversorger	5.276,00	5.691,00	6.530,00
Kaltwasser und Warmwasser für 66 WE	5.187,46	5.459,94	6.161,02
Warmwasser	1.684,26	1.795,82	2.093,03
28 WE und Kita			
Kaltwasser und Warmwasser	2.034,95	2.008,31	2.861,01
Kaltwasser	1.256,25	1.247,36	2.027,98
Warmwasser	778,70	760,95	833,03
Betriebswasser	827,84	935,65	896,19
Gesamt	2.862,79	2.943,96	3.757,20
% TW-Einsparung	28,9	31,8	23,9

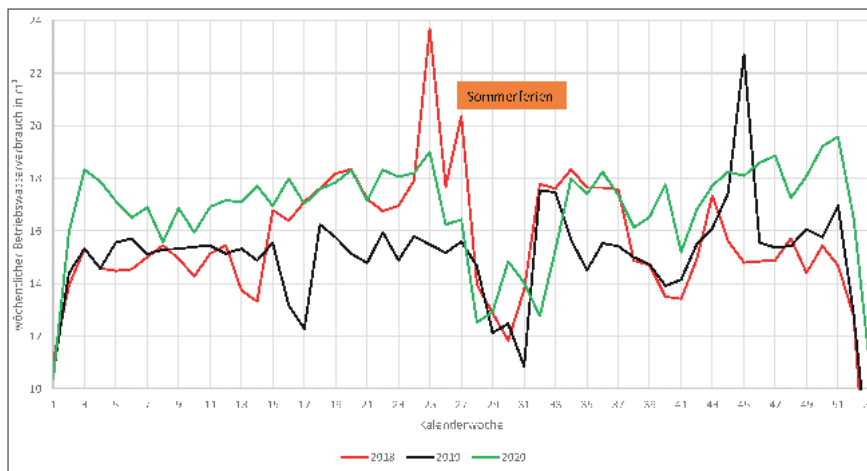


Abbildung 6: Betriebswasserbedarf für die Toilettenspülwasserversorgung von 28 WE und einer Kita - dargestellt über die letzten 3 Jahre

wasser im Anschluss an dessen Aufbereitung ständig auf 10 °C abgekühlt würde. Weitere Optimierungen der Wärmeausbeuten scheinen durch veränderte Parametereinstellungen an der Wärmepumpensteuerung möglich, die ggf. durch weitere installationstechnische Maßnahmen zu unterstützen wären. Hierzu wären experimentelle Veränderungen am Gesamtsystem der Wärmerückgewinnung erforderlich gewesen, was auch aus Gewährleistungsgründen in diesem Rahmen nicht möglich war.

Die Grauwasserrecyclinganlage wurde steuerungs- und softwaremäßig auf einen Tagesdurchsatz von 3.000 l/d

ausgeliefert und ist nach dem aktuellen Grauwasseranfall bis 2019 nur zu 2/3 ihrer Nennleistung ausgelastet. Ein höherer Grauwasseranfall (durch z. B. höhere Wohnungsbelegungsraten usw.) würde die Wirtschaftlichkeit ohne technische Änderungen automatisch erhöhen. Selbst bei den zurzeit noch vergleichsweise niedrigen Frankfurter Wasserkosten in Höhe von 3,55 € pro Kubikmeter und entsprechenden Aufwendungen für Wartung und Reparaturen, lassen sich für das Grauwasserrecycling bei Investitions- und Installationskosten in Höhe von 23.300 € (netto ohne Wärmerückgewinnung) prinzipiell Amortisationszeiten von unter 10 Jahren realisieren.

Durch den niedrigen Grauwasseranfall besteht momentan noch ein gewisses, aber eher geringes Potenzial für Energieeinsparungen, indem die Belüftungszeiten der Wasseraufbereitung reduziert werden.

Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit

Jeder Mensch ist nach dem Wasserhaushaltsgesetz §5 Abs. 2 dazu verpflichtet, eine mit Rücksicht auf den Wasserhaushalt gebotene sparsame Verwendung des Wassers sicherzustellen. [6] Insbesondere in Ballungsgebieten, die ihren Wasserbedarf nicht ausschließlich aus eigenen Ressourcen decken können, sind gerade im Kontext des Klimawandels und damit einhergehenden häufigeren und zugleich längeren Trockenzeiten enorme Investitionen seitens der Wasserindustrie erforderlich. Dies bringt EndverbraucherInnen eine Erhöhung der Wasserkosten in noch unbekannter Höhe.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen werden i. d. R. maßgeblich durch die Grenzen der Systembetrachtung und durch die Betrachtungszeiträume beeinflusst. Allein auf die momentan eingesparten Energie- und Wasserkosten zu schauen und Umweltaspekte auszuklammern, ignoriert die Agenda 2030, die zudem explizit dazu auffordert „zu Hause beginnen.“ [7]

Ferner verteuert seit Januar 2021 der neue CO₂-Preis das Heizen mit Öl und Gas. Auch wenn über dessen Höhe und Aufteilung zwischen Mieter und Vermieter noch Unklarheit besteht, muss der Bezug von Wasser und Energie reduziert werden; das ist dauerhaft nur durch Recyclingmaßnahmen zu erreichen.

Seitens der Wohnungswirtschaft stehen bisher lediglich die gesetzlich geforderten energetischen Klimaziele im Vordergrund. Wasserwirtschaftliche Vorgaben, etwa zum maximalen Wasserbezug, sind als Posten, die an die Mieter weitergegeben werden, bisher kaum Gegenstand der Überlegungen.

>>

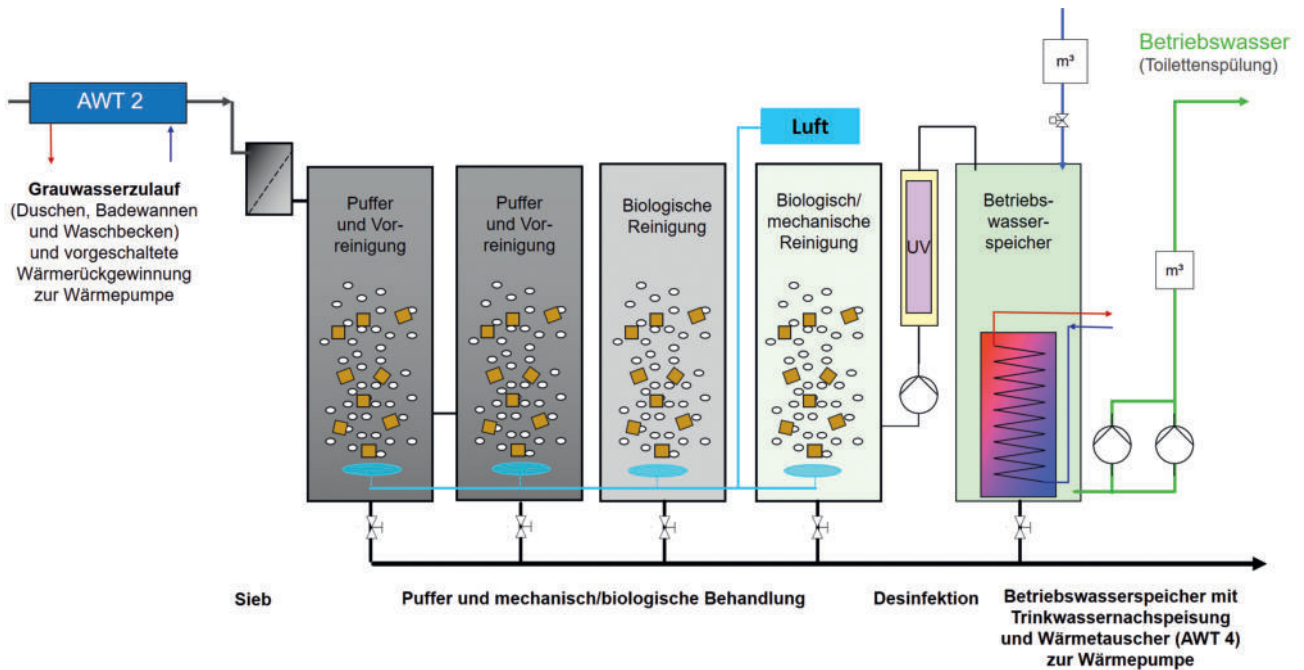


Abbildung 7: Prinzip der Grauwasserrecyclinganlage mit nachgeschalteter Wärmerückgewinnung aus dem Betriebswassertank

Für die ABG in Frankfurt stellt sich, nachdem die Investitionen für die Prototypen bereits getätigt wurden, zunächst die Frage, in welchem Verhältnis die realen Betriebs- und Wartungskosten zu den tatsächlich erzielten Einsparungen stehen und ob es sich künftig lohnt, auf Grauwasserrecycling mit Wärmerückgewinnung zu setzen und wenn ja, wie das zukünftige Konzept aussehen könnte. Dabei darf nicht nur der Zeitraum der Herstellergewährleistung gesehen, sondern muss die Gesamtlebenszeit von ca. 30 Jahren betrachtet werden.

Der laufende Wartungs- und Überwachungsaufwand, die Betriebsmittel für Strom, Chemikalien und den ggf. erforderlichen Austausch bzw. die Regenerierung von Anlagenkomponenten bestimmen neben erforderlichen Reparaturen die Wirtschaftlichkeit ganz wesentlich. Die Projektergebnisse zeigen, dass Wartungsintervalle von mehr als einem Jahr ohne zwischenzeitlichen Personaleinsatz vor Ort vertretbar sind, wenn die Anlage wie hier einem automatisierten Monitoring unterliegt, so dass jede Abweichung vom Normalbetrieb per Mail an den Betreiber versandt wird.



Abbildung 8: Blick in die biologische Grauwasseraufbereitungsstufe. Das Wirbelbett mit Schaumstoffwürfeln nach einer 15-jährigen Betriebszeit ohne Austausch der Reinigungskörper

Wärmerückgewinnung und CO₂-Reduzierung

Durch die zurückgewonnenen jährlichen Wärmeerträge in Höhe von 35 MWh wird, unter dem Einsatz der Wärmepumpe und einem zusätzlichen Energieaufwand von 10 MWh, das Wasser auf ein Temperaturniveau von 40 °C gehoben. Der Wärmeentzug aus dem Abwasser entspricht in etwa den Jahreserträgen einer ca. 100 m² großen Flachkollektor-Solarthermieanlage.

Mittels Solarthermie werden zwar höhere Temperaturen erzeugt, und die Warmwasserbereitung erfordert in der Regel keine weitere Nacherwärmung.

Allerdings liefert die Solarthermie in den Wintermonaten, in denen besonders viel Wärme im Gebäude benötigt wird, nahezu keine Erträge. Speziell in den Sommern, wenn die höchsten Solarerträge erzielt werden und bei leicht erhöhten Kaltwassertempera-

Tabelle 6

Monatliche Betrachtung zum Energiebedarf, den CO ₂ -Emissionen unterschiedlicher Warmwasserbereitungsvarianten sowie einem Kostenvergleich. Energiepreise je kWh - Erdgas: 0,06 €, Strom aus Strommix: 0,30 € und PV-Strom aus Eigenerzeugung: 0,10 €							
	ermittelte Werte				CO ₂ -Emissionen (kg) für Warmwasservorwärmung auf 40 °C		
2018	eingespeiste Wärmemenge (MWh)	PV-Anlage Ertrag aus 10 kWp (SAS 2017) (MWh)	Strombedarf für WRG (MWh)	Strom Zukauf (-) Überschuss (+) (MWh)	Erdgasheizung (247 g CO ₂ /kWh)	Strom für WP nur aus Strommix (401 g CO ₂ /kWh)	WRG mit 10 kWp-PV (50 g CO ₂ /kWh) und Strommix (401 g CO ₂ /kWh)
Januar	3,961	0,222	0,862	-0,640	880	345,7	267,7
Februar	3,644	0,365	0,768	-0,412	810	308,0	183,0
März	4,227	0,784	0,922	-0,138	939	369,7	94,5
April	4,053	1,068	0,881	0,187	901	353,3	- 65,6
Mai	4,157	1,285	0,892	0,393	924	357,7	- 137,9
Juni	3,580	1,392	0,777	0,615	796	311,6	- 215,9
Juli	2,795	1,188	0,614	0,574	621	246,2	- 201,5
August	3,005	0,975	0,656	0,319	668	263,1	- 112,0
September	3,369	0,720	0,733	-0,013	755	293,9	41,2
Oktober	3,884	0,449	0,836	-0,387	863	335,2	177,6
November	4,243	0,181	0,916	-0,735	943	367,3	303,8
Dezember	4,082	0,091	0,896	-0,805	907	359,3	327,4
Jahresbilanz	45,027	8,711	9,753	- 1,042	10.006	3.911,0	662,4
CO₂-Reduktion im Vergleich zur Erdgastherme (90 % Wirkungsgrad)					0 %	- 61 %	- 93 %
Energiekosten für 45 MWh Wärme					2.701,62 €	2.925,90 €	1.183,70 €

turen der Warmwasserbedarf sinkt (siehe Abbildung 9), kann die erzeugte Wärme oftmals nicht genutzt werden. Demgegenüber werden bei der dezentralen Wärmerückgewinnung aus Abwasser gerade in den Wintermonaten die höchsten Erträge erzielt und die vorhandenen Wärmeenergiepotenziale effektiv ausgeschöpft.

Statt einer Solarthermieanlage wurde in diesem Projekt eine 10 kWp PV-Anlage installiert, die den Jahresstrombedarf für die Wärmerückgewinnung in Höhe von 9,75 MWh rechnerisch zu 89,3 % abdeckt. Im Zeitraum von Oktober bis Ende Februar muss jedoch ein nennenswerter Teil des Strombedarfs aus dem Netz bezogen werden, während überschüssiger Strom von April bis September ins Netz eingespeist wird (Tabelle 6).

Zur Vorerwärmung des Warmwassers wurden 2018 insgesamt 45 MWh mittels Wärmepumpe aus dem häuslichen Abwasser bereitgestellt. Gegenüber der Erwärmung mit Erdgas wurden damit ein CO₂-Ausstoß von 10 t und Energiekosten in Höhe von 2.701 € eingespart. Der Einsatz einer Wärmepumpe mit Netzstrom (Strommix) reduziert die CO₂-Emissionen um 61 % bei leicht erhöhten Energiekosten. Der größte Nutzen ergibt sich, wenn die Wärmerückgewinnung aus Abwasser weitgehend durch Strom aus einer PV-Eigengewinnungsanlage gedeckt werden kann. Im Vergleich zur Erdgaslösung sinken die CO₂-Emissionen um 93 %.

Grauwasserrecycling

Auch wenn das Grauwasser direkt im Gebäude recycelt wird und damit lange Wege zur Kläranlage vermieden wer-

den, sind allein durch kleinräumiges Grauwasserrecycling im Vergleich zur zentralen Wasserversorgung und Abwasserbehandlung nur geringe Energie- und CO₂-Einsparungen zu erwarten. Grund ist, dass das Betriebswasser aus der hier vorgestellten Grauwasserrecyclinganlage qualitativ wesentlich hochwertiger ist als die Ablaufqualität aus einer kommunalen Kläranlage.

Durch Grauwasserrecycling wird weniger Trinkwasser benötigt und es muss entsprechend weniger Abwasser zentral aufbereitet werden. Dies entlastet die Gewässer qualitativ wie quantitativ, zumal die Grauwasseraufbereitung mittels Wirbelbettverfahren ohne Chemikalien auskommt.

Wasserspitzenbedarfe, die teuer durch die zentrale Infrastruktur abgefangen

>>

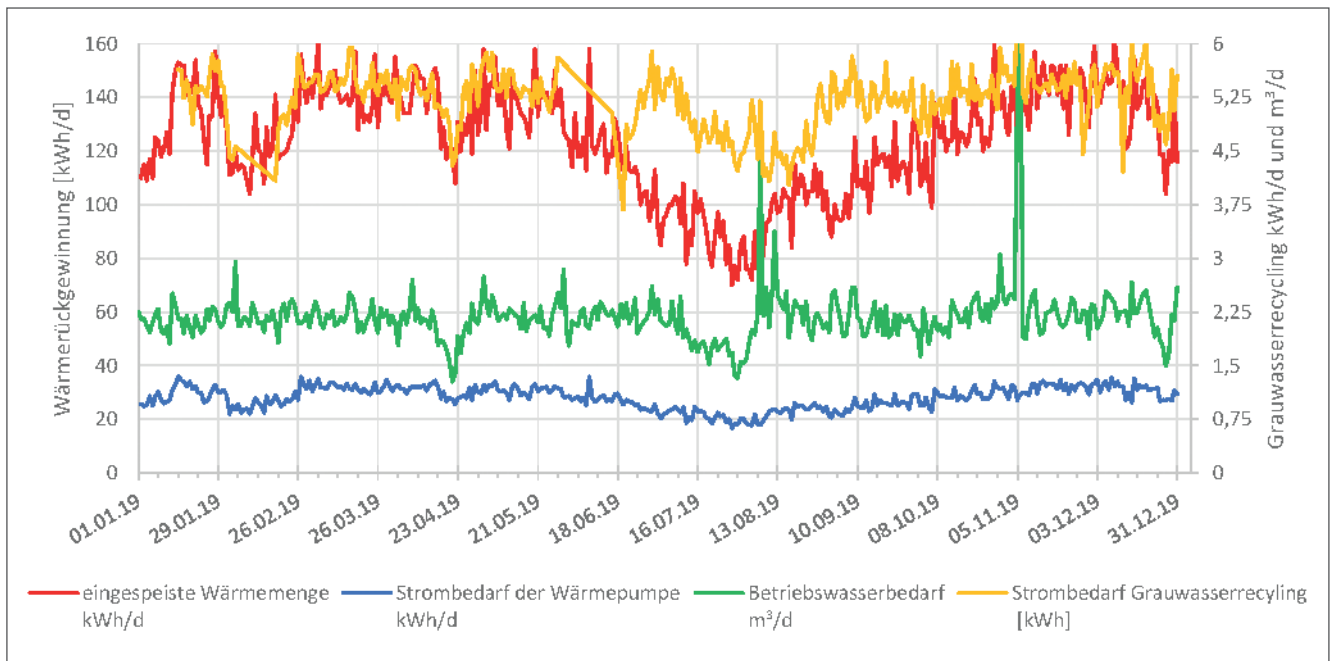


Abbildung 9: Jahresverlauf des Betriebswasserbedarfs der 28 WE, die mit Grauwasserrecycling ausgerüstet wurden. Stromverbrauch der Grauwasseranlage, eingespeiste Wärmemenge für 66 WE und der dafür erforderliche Energiebedarf für die Wärmepumpe.

und i. d. R. aus dem städtischen Umland importiert werden, werden durch Grauwasserrecycling deutlich reduziert. So haben etwa kurzzeitige Verbrauchsspitzenwerte (z. B. Toilettengänge während der Pause im Fußballländerspiel) i. d. R. keine Auswirkungen mehr auf die zentrale Trinkwasserversorgung.

Neben der Umwelt, die durch Betriebswassernutzung entlastet wird, profitieren auch Endkunden von niedrigeren Betriebskosten. Je mehr Wasser aufbereitet und wiederverwendet wird, je zuverlässiger die Recyclinganlage mit zugleich niedrigen Betriebskosten arbeitet, desto höher der Nutzen.

Online-Monitoring

Zur Effizienzsteigerung des Wasserrecyclings hat sich das Online-Monitoring bewährt. Betreiber sind so ständig über das Betriebsergebnis d. h. Betriebswasserbedarf (BW), Trinkwassernachspeisung (TWN), Gesamtstrombedarf (Strom) informiert. Durch regelmäßige Aufwands- und Ertragsmeldungen wird zudem bestätigt, dass die Fernverbindung nicht unterbrochen ist. Alle Daten werden in ein- oder zweiminütigen Intervallen auf einer SD-Karte gespeichert; im Servicefall ist eine zielsichere

Prognose durch den Hersteller möglich.

Über einen gesicherten VPN-Zugang haben befugte Personen jederzeit Fernzugriff auf die Anlage. Alle elektrisch steuerbaren Aggregate können angesprochen, der aktuelle Anlagenzustand sekundengenau angezeigt und individuelle Programmoptimierungen vorgenommen werden. Im Störfall kann im Betriebsraum per WLAN eine Verbindung zum Hersteller aufgebaut werden, der ggf. die erforderlichen Anweisungen erteilt. Mit diesem Support können Wartungsarbeiten und Reparaturen auch von Handwerkern durchgeführt werden, die noch keine praktischen Erfahrungen mit der Technik haben.

Ähnlich komfortabel wurde der Fernzugriff auf die Wärmerückgewinnungsanlage realisiert. Die Steuerung der Grauwasserrecycling- und der Wärmerückgewinnungsanlage sollten jedoch künftig auch aus Kostengründen in einer Einheit zusammengefasst werden.

Perspektivische Anlagenerweiterung

Reparaturen an der Wärmerückgewinnungs- und an der Grauwasserrecycling-

anlage waren seit der Inbetriebnahme in 2016 bis zum Frühjahr 2021 nicht erforderlich. Dies spricht für ihre Zuverlässigkeit. Für die Grauwasserrecyclinganlage wurde in den vier Betriebsjahren eine einzige Anlagenwartung durchgeführt (Ende 2018), bei der sie umfassenden Funktionstests unterzogen wurde (Materialkosten 150 €, Lohnkosten 450 € zzgl. Fahrkosten, die den größten Teil der Gesamtrechnung ausmachen). Durch den Betrieb der Grauwasserrecyclinganlage sinkt der Trinkwasserbedarf in den 28 mit Betriebswasser versorgten Wohnungen um ca. 30 %, und die Betriebskosten jährlich um ca. 2.000 €. Dies ist aus Nutzersicht ein deutliches Signal, die Forschungsanlage weiterhin zu betreiben.

Auf Basis der in diesem Forschungsprojekt gewonnenen Erkenntnisse würde man künftig sicher alle 66 Wohneinheiten mit der getrennten Erfassung des Grauwassers aus Badewannen, Duschen, Handwaschbecken und Waschmaschinen ausrüsten.

Die Grauwasserrecyclinganlage für ca. 200 Bewohner wäre etwas größer als die Versuchsanlage und würde eine rei-

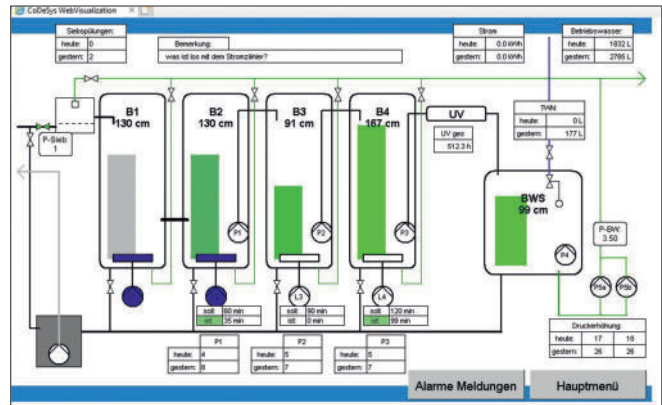
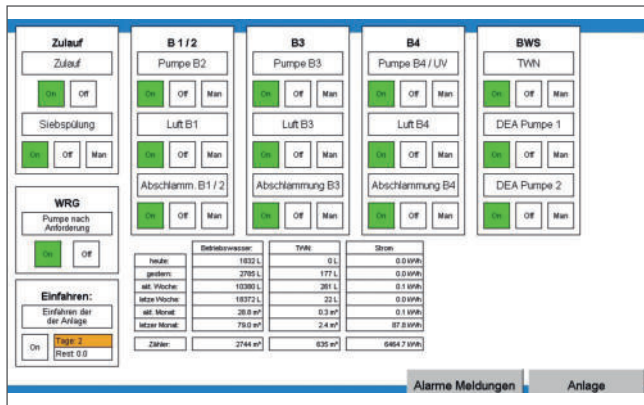


Abbildung 10: Screenshots zur Fernsteuerung der Grauwasserrecyclinganlage

ne Stellfläche von ca. 25 m² benötigen. Sie hätte eine Aufbereitungsleistung von etwa 8 m³/d und würde die Bewohner mit einem hochwertig aufbereitetem Betriebswasser versorgen, das sich qualitativ nur geringfügig vom Trinkwasser unterscheidet. Dieses würde in erster Linie für die Toilettenspülung verwendet und darüber hinaus auch zum Wäschewaschen angeboten werden. Überschüssiges Betriebswasser würde für die Bewässerung des Gründachs bzw. der Gartenanlagen und für Reinigungszwecke verwendet. Damit würde sich der Trinkwasserbezug gegenüber dem bundesweiten Durchschnitt um ca. 40 % reduzieren.

Die Mehrkosten für zusätzliche Leitungen (Grauwassersammel- und Betriebswasserleitungen) sowie die Grauwasserrecyclinganlage mit Wärmepumpe inkl. Installation und Inbetriebnahme liegen im Bereich um 2.000 €/WE bzw. 20 €/m² Wohnfläche.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Forschungstätigkeiten wurden unterschiedliche Varianten der Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser untersucht. Diese waren gemeinsam an eine 7,7 kW Wärmepumpe mit einer JAZ von 4,43 angeschlossen.

Ein 12 m langer Rohrwärmetauscher (AWT 1), der mit dem gesamten Abwasser von 38 WE (3.492 m² WF) beschickt wurde, erzielte einen Wärmeertrag von nur 2,75 kWh/m³ Abwasser bzw. 4,63 kWh/a/m² Wohnfläche. Die Untersu-

chungen zeigten, dass eine etwas stärkere Abkühlung z. B. durch eine Verlängerung des Wärmetauchers technisch prinzipiell möglich ist. Dabei besteht jedoch die Gefahr, dass abgekühlte Fettanteile sich an der Rohrwand anlagern, den Wärmeübergang verschlechtern und damit den Wartungsbedarf erhöhen.

Die deutlich effizientere Variante basiert auf einer getrennten Erfassung der Abwasserteilströme aus 28 WE (2.676 m² Wfl). Hier wurden einerseits die Toiletten-, Waschmaschinen- zusammen mit dem Küchenabwasser und andererseits das Grauwasser aus Bädern, Duschen und Handwaschbecken aus 28 WE getrennt erfasst und durch jeweils 6 m lange Rohrwärmetauscher geleitet. Der höhere Wärmeertrag mit 4,29 kWh/m³ wurde im Grauwasserstrang ermittelt. Das aufbereitete Grauwasser ist bereits rein optisch kaum vom Trinkwasser zu unterscheiden, und selbst nach 4 Jahren wurden nur unwesentliche Ablagerungen an dem im Betriebswassertank installierten, äußerst kompakten Wellrohrwärmetauscher festgestellt. Sie zu entfernen, war bisher nicht notwendig.

Die Wärmeentnahme aus zuvor behandeltem Grauwasser lieferte einen Ertrag von 14,4 kWh/m³. Der Wärmeentzug aus Grauwasser betrug in diesem Pilotprojekt insgesamt 6,32 kWh/a pro m² Wohnfläche; das Wärmepotenzial (aus Badewanne, Dusche und Handwaschbecken) könnte jedoch

bei einer Abkühlung um insgesamt 20K auf 8,1 kWh/a/m² optimiert werden. Weitere Wärmeressourcen ließen sich durch weitere Grauwasserquellen, z. B. das Einbeziehen der Waschmaschinen, generieren, womit man dem Ziel der CO₂-neutralen Warmwasserbereitung schrittweise nähert.

In einem ähnlichen Projekt mit 4.600 m² Wohnfläche in Berlin wird die Grauwasserwärme (hier nur aus Badewannen und Duschen) ohne Wärmepumpe – lediglich über Wärmetauscher – mit einer kleinen Umwälzpumpe gewonnen, um das kalte Trinkwasser auf 25 °C vorzuwärmen, bevor es in einem BHKW auf über 60°C Endtemperatur erhitzt wird. Mit diesem „einfachen“ System wurden 2020 insgesamt 15.345 kWh Wärme eingespart. Das entspricht mit 3,33 kWh/a/m² also etwa einem Drittel des Warmwasserwärmebedarfs. [8]

Kritiker auf Seiten der Wohnungswirtschaft weisen nicht ganz zu Unrecht darauf hin, dass durch höhere Investitionen auch die Kaltmiete anstiege, die für moderne, anspruchsvolle Wohnungen in Frankfurt/Main bei 15 €/m² liegt. Dem ist entgegenzuhalten, dass die Grauwasserrecyclingversuchsanlage allein durch den Einsatz von Betriebswasser zur Toilettenspülung eine Trink- und Abwasserwassereinsparung von durchschnittlich 30 % erzielte, ohne hygienisches Risiko oder Komfortverlust. Die Einsparungen an Wasser- und Energiekosten von ca. 3 €/m²/a sind deutlich höher als die

>>

unter Umständen. höhere Kaltmiete in Höhe von ca. 1 €/m²/a. Die Wärmerückgewinnung generiert weitere finanzielle Einsparungen und leistet einen maßgeblichen Beitrag zur Reduzierung der CO₂-Emissionen bei der Warmwasserbereitung. Die tatsächlichen Einsparungen können je nach Gebäudetyp und Nutzerverhalten individuell etwas schwanken. Entscheidend ist, dass der damit verbundene Betriebsaufwand für Energie- und insbesondere der Wartungsaufwand gering und die Anlage resistent gegen Störstoffe ist.

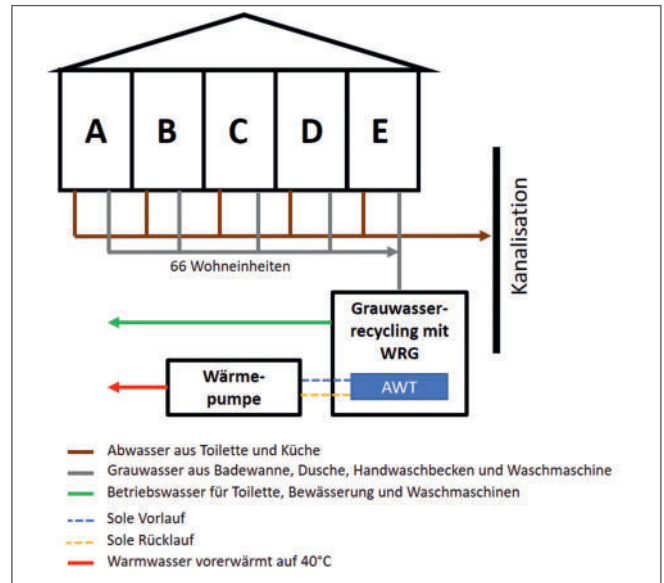
Es ist leider nie völlig auszuschließen, dass Feststoffe wie ganze Haarzöpfe, Wattestäbchen, Teile von Kinderspielzeug, Rückstände von Bastelarbeiten, aber auch flüssige Substanzen wie Badeöle, Reinigungsmittel usw. in hausunüblichen Mengen bewusst oder eben auch versehentlich eingeleitet werden. Das hier vorgestellte Wirbelbettverfahren mit Schaumstoffwürfel als Trägermaterial hat sich seit 15 Jahren selbst dort bewährt, wo ständig fetthaltige Küchenabwässer mit dem übrigen Grauwasser behandelt wurden. Bislang war an keiner der Anlagen ein Austausch der Reinigungskörper erforderlich.

Grauwasserrecycling und Wärmerückgewinnung sind noch kein Serienprodukt, haben aber hier ihre Zuverlässigkeit erneut unter Beweis gestellt. Sowohl die Wärmerückgewinnung als auch das Grauwasserrecycling tragen bei vergleichsweise geringen Investitionskosten von einmalig ein bis zwei Monatsmieten deutlich zur Umweltentlastung und zugleich zur Reduzierung der Betriebskosten bei und sollten deshalb zur Standardausstattung im mehrgeschossigen Wohnungsbau gehören.

Hemmnisse abbauen

Seitens der Wasserwirtschaft behaupteten einige Kritiker anlässlich des Weltwassertags sogar, dass Grauwasserrecycling ein Schritt zurück ins Mittelalter [9] sei, andere unterstellen fortwährend, dass dezentrales Wasser-

Abbildung 11: Empfehlung, basierend auf den Forschungsergebnissen, für ein weitgehend indentes Projekt im mehrgeschossigen Wohnungsbau mit 66 WE



recycling unwirtschaftlich sei. Beiden gemeinsam ist, dass sie keinen Weg aufzeigen, wie sie selbst in Zeiten des globalen Klimawandels mit den knappen werdenden Wasserressourcen denken umzugehen, zugleich Energie einsparen und die Wasserkosten für den Endverbraucher senken können. Sie müssen sich deshalb fragen lassen, wie eine ggf. bessere Alternative zum Grauwasserrecycling mit integrierter Wärmerückgewinnung umgesetzt werden kann um die o. g. Ziele der SDGs bzw. der Agenda 2030 tatsächlich zu erreichen.

Für die PV haben sich die Investitionskosten seit 2016 in etwa halbiert. Die Investitionskosten für Grauwasserrecyclinganlagen werden bei einer beginnenden Serienfertigung vermutlich sinken. Zugleich steigen die Wasserkosten bereits seit Jahren konstant und der CO₂-Preis wird auch die Energiekosten beeinflussen. Mit Blick auf die SDGs und die nationalen Agenda 2030 gehört zur richtigen politischen Weichenstellung, dass in Neubauten Grauwasser stets getrennt vom Toilettenabwasser erfasst wird und dessen Recyclingpotenziale bezüglich Wasser und Energie entsprechend genutzt

werden. Städte brauchen Wasserspeicher für die Bewässerung von Bäumen und Grünanlagen im öffentlichen Raum und es wird zusätzliches Wasser für begrünte Dächer und Fassaden benötigt. [10]

Einer breiten Einführung von Grauwasserrecycling mit integrierter Wärmerückgewinnung steht technisch nichts im Wege zumal auch der Mieternutzen nachgewiesen ist. Wohnungsgenossenschaften haben die Vorteile erkannt, legen die Investitionsmehrkosten auf die Kaltmiete um und reduzieren dadurch die Betriebskosten. Andere Investoren scheuen jedoch noch die Mehrkosten, weil sie daraus für sich keinen sofortigen finanziellen Nutzen erkennen. Wer die Betriebswassernutzung beim Neubau nicht vorsieht begeht in Zeiten des Klimawandels eine Bausünde.

Ein gewisses Defizit besteht momentan noch darin, dass viele Planer und Handwerker im Umgang mit dezentralen Wasserrecycling- und Wärmerückgewinnungskonzepten über keinerlei eigene Erfahrung verfügen und zugleich ein genereller Fachkräftemangel zu beklagen ist. Hier sind u. a. Weiterbildungsmaßnahmen dringend gefordert.

Be smart & safe!

Regenwasser richtig nutzen



meinuwo.de

**Mit „UWO Smart Control“
immer online verbunden.**

www.uwo-water.de

Danksagung:

Der Autor dankt der Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), die die Untersuchung unter dem AZ 34056701 fördert und Herrn Köhler von der ABG Frankfurt Holding sowie Frau Kunkel von der ABGnova GmbH für die kooperative Zusammenarbeit.

Autor:

Erwin Nolde
Nolde & Partner innovative Wasser-
konzepte, Berlin
mail@nolde-partner.de
www.nolde-partner.de

Abbildungen:

Nolde & Partner (falls nicht anders angegeben)

Literatur und Quellen:

- [1] <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1494sgreportsdgs.pdf>
- [2] „Brauchen Frankfurter Klos Wasser aus dem Vogelsberg?“
https://www.deutschlandfunkkultur.de/30-jahre-kampf-gegen-wasserabbau-brauchen-frankfurter-klos.1001.de.html?dram:article_id=467919
- [3] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/wawiflyer_uba_de_web.pdf
- [4] <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/>
- [5] <https://networks-group.de/de/networks-3/das-projekt.html>
- [6] <https://dejure.org/gesetze/WHG/5.html>
- [7] http://www.bmz.de/de/themen/2030_agenda/
- [8] <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-28201.pdf>
- [9] <https://www.bdew.de/presse/pressinformationen/wiederverwendung-von-grauwasser-ware-ruckschritt-ins-mittelalter/>
- [10] Harting, M.: *Wasserspeicher anlegen, Gärten weniger bewässern*
<https://www.faz.net/aktuell/rhein-main/region-und-hessen/folgen-des-klimawandels-staedte-sollen-wasserspeicher-anlegen-16789168.html>