

Hohe Energie- und Wassereffizienz durch Grauwasserrecycling mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung

Erwin Nolde

Die rein zentral orientierte Wasserver- und -entsorgung ist bislang noch wenig ressourceneffizient. Die Berliner Wasserbetriebe beispielsweise beziehen trotz Einsatz modernster Aufbereitungstechnologien sowie Energierückgewinnung aus Klärschlamm und Co-Vergärung immer noch so viel Energie wie eine Stadt mit 280.000 Einwohnern (BWB, 2012).



Gern wird hervorgehoben, dass Wärmeenergie auch aus dem kommunalen Abwasserkanal entnommen wird, um Wohnungen und Gewerbe zu heizen und zu kühlen – Maßnahmen, die durchaus zu begrüßen sind. Die Primärenergiebetrachtung ist aber eher ernüchternd und die Stadterwärmung nimmt dadurch nicht wirklich ab, da die Abwassertemperatur an nur wenigen Stellen des Kanalnetzes um 1–2 °C verringert werden kann. Bisher ist weder eine Wasserversorgung noch eine zentrale Kläranlage bekannt, die mehr Energie gewinnt als an Primärenergie für das System benötigt wird. Genau dieses ist möglich durch Grauwasserrecycling mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung. Mit vergleichsweise niedrigen Investitionskosten profitieren hierdurch Nutzer und Umwelt ge-

meinsam. Mit 1,6kWh elektrischer Energie – das entspricht 4kWh Primärenergie – wird aus einem Kubikmeter Grauwasser hochwertiges Betriebswasser bereit gestellt und dem Grauwasser ca. 10 bis 15kWh thermische Energie entzogen, welche zur Vorerwärmung des Trinkwassers in das Hausnetz eingespeist wird.

Grauwasser, eine nahezu unendliche Wasserressource

Bei einem durchschnittlichen Trinkwassertagesverbrauch von 122 Liter/P (BDEW, 2012), der im modernen Wohnungsbau durch Wasserspararmaturen und entsprechendes Verbraucherverhalten relativ einfach auf ca. 90 Liter/P gesenkt werden kann, fallen abwasserarmäßig ca. 25–30 Liter/P als nährstoffreiches Schwarzwasser an. Das restliche Abwasser, ca. 60–65 Liter/P, ist sogenanntes Grauwasser. Dieses kann als gering belastetes Grauwasser (nur der Anteil aus Badewannen, Duschen und Handwaschbecken) oder wenn es zusätzlich das Küchenabwasser und das aus den Waschmaschinen enthält, als hoch belastetes Grauwasser über unterschiedliche Aufbereitungstechnologien zu einem hochwertigen Betriebswasser aufbereitet werden (fbr, 2005).

Betriebswasser kann im Haushalt für alle Verwendungszwecke zum Einsatz kommen, für die der Gesetzgeber keine Trinkwasserqualität vorschreibt (Toilettenspülung, Wä-

schewaschen, Raumreinigung sowie Bewässerung, Versickerung etc.). Durch Grauwasserrecycling kann der Trinkwasserbedarf relativ einfach auf 45 Liter/P/d reduziert werden.

Durch Mehrfachrecycling wird Grauwasser zu einer nahezu unendlichen Wasserressource und der Trinkwasserbedarf ließe sich noch deutlich weiter reduzieren. Dieser Aspekt und auch die gelegentlich vorgebrachte Forderung, aus Grauwasser Trinkwasser herzustellen, soll hier nicht weiter vertieft werden, denn „Trinkwasser soll“, so, wie bis 1973 in der alten, aber nicht mehr aktuellen DIN 2000 formuliert wurde „seiner Herkunft nach appetitlich sein und nach seiner äußeren Beschaffenheit zu Genuss anregen.“ Stattdessen soll hier der Fokus auf das speziell im Grauwasser vorhandene Wärmepotenzial gerichtet werden, denn in einem Passivhaus (Wärmebedarf für Raumheizung <15kWh/m²/a) wird etwa 1,5-fach soviel Energie für die Warmwasserbereitung wie für die Raumerwärmung benötigt.

Während die Energie der Raumabluft schon seit vielen Jahren über Wärmetauscher zurückgeführt wird, gibt es wenige Aktivitäten, die Energie, die das Gebäude über den Abwasserpfad verlässt, zu recyceln. Mit der ungenutzten Energie wird stattdessen die Umwelt geheizt – besonders gut zu erkennen im Winter – wenn dort, wo die Abwasserrohre >>



Foto 1 und 2: Im ersten Berliner Passivhaus für Mieter – mit 41 Wohn- und 4 Gewerbeeinheiten – steht im Heizungsraum auf ca. 9 m² Stellfläche (ca. 0,1 m² pro Bewohner) der Prototyp einer neu entwickelten Grauwasserrecyclinganlage mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung. Er hat eine tägliche Reinigungsleistung von 3 m³.

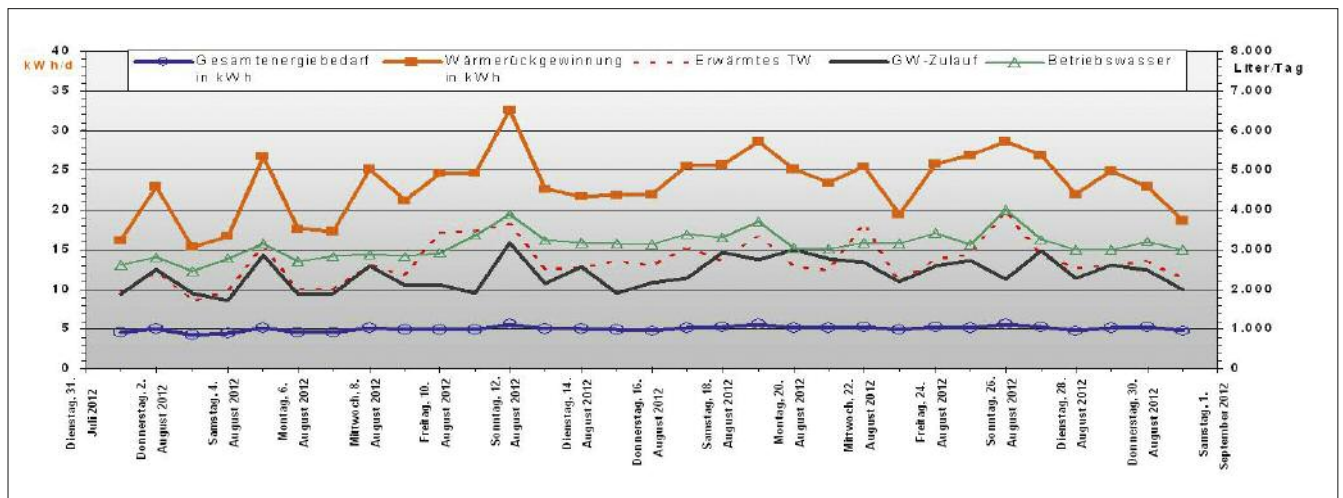


Abb. 2: Anlagenbilanzierung für den Monat August (unter Berücksichtigung der Schulferienzeit bis zum 5.08.2012 mit verringertem Grauwasseranfall).

verlegt sind, der Schnee sofort zu schmelzen beginnt. Anstrengungen, das bereits deutlich abgekühlte Abwasser Kilometer weit entfernt vom Anfallsort oder erst auf der Kläranlage zu nutzen sind vergleichbar, wie mit einem ständigen Leck im Benzintank den Wirkungsgrad des Motors verbessern zu wollen.

Beschreibung des Berliner Pilotprojekts am Arnimplatz

In Berlins erstem Passivhaus für Mieter wurde ein Jahr nach der Fertigstellung eine Grauwasserrecyclinganlage mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung nachgerüstet. Das 2. Leitungsnetz zur Erfassung des Dusch- und Badewassers, sowie die Betriebswasser-

leitungen für die Toilettenspülung, waren installiert, eine Wärmerückgewinnung aus dem Grauwasser war seitens der Haustechnikplanung nicht vorgesehen.

Das warme Grauwasser aus Badewannen und Duschen wird über ein Sieb von Störstoffen befreit, bevor ihm die Wärme mittels einer 20 Watt-Umwälzpumpe über einen Wärmetauscher (Rohrbündel) entzogen wird. Auf den Einsatz einer Wärmepumpe wurde bewusst verzichtet. Sieb und Wärmetauscher reinigen sich bei Bedarf automatisch. Die in den Pufferspeicher eingelagerte Energie wird bedarfsgerecht an das Kaltwasser abgegeben, das dann entsprechend vorgewärmt zum Boiler kommt – in diesem Fall ist

es ein BHKW, was zur Warmwasserbereitung, Heizung und Stromerzeugung dient.

Das abgekühlte Grauwasser gelangt in einen anderen Pufferspeicher, wo gleichzeitig der Hauptteil der organischen Fracht oxidiert wird. Der letzte mit Schaumstoffwürfeln bestückte Wirbelbettreaktor klärt das Grauwasser auf einen Rest-BSB deutlich unter 5 mg/l mit einer Trübung von 1-2 NTU. Das mittels UV-Licht desinfizierte Betriebswasser gelangt in den letzten Speicher und wird von da aus über eine Druckerhöhungsanlage (4 bar) an die Wohneinheiten als Toilettenspülwasser abgegeben. An keiner Stelle des Aufbereitungsprozesses werden Chemikalien in Form von Desinfektionsmitteln, Säuren oder Laugen etc. benötigt. Da es insbesondere darum geht, dass sowohl die Grauwasserrecycling- als auch die Wärmerückgewinnungsanlage möglichst wartungsarm betrieben werden, wurde gesteigerter Wert auf eine weitestgehende Automatisierung, Fernüberwachung und wegen des Pilotcharakters der Anlage zusätzlich auf ein Online-Monitoring gelegt. Beginnend im April bis Ende Oktober 2012 waren – abgesehen von den Messgeräten (Trübung und SAK) – keine Wartungsarbeiten erforderlich. Die Wasserqualität ist von Anfang an sehr hoch, die Qualitätsanforderungen (SenBauWohn, 1995: BSB7 unter 5 mg/l und Einhaltung der Hygieneanforderungen der EU-Richtlinie für Badegewässer) werden stets erfüllt. Dadurch, dass in diesem Projekt nur das Grauwasser aus den Duschen und Badewannen der 41 Wohneinheiten erfasst wird, fällt weniger Grauwasser an (Monatsmittel August = 2.385 L/d), um damit neben den Wohneinheiten auch das Gewerbe, das kein Grauwasser einleitet, mit Betriebswasser für die WC-Spülung (Betriebswasserbedarf im Monatsmittel August = 3.122 L/d) zu versorgen.

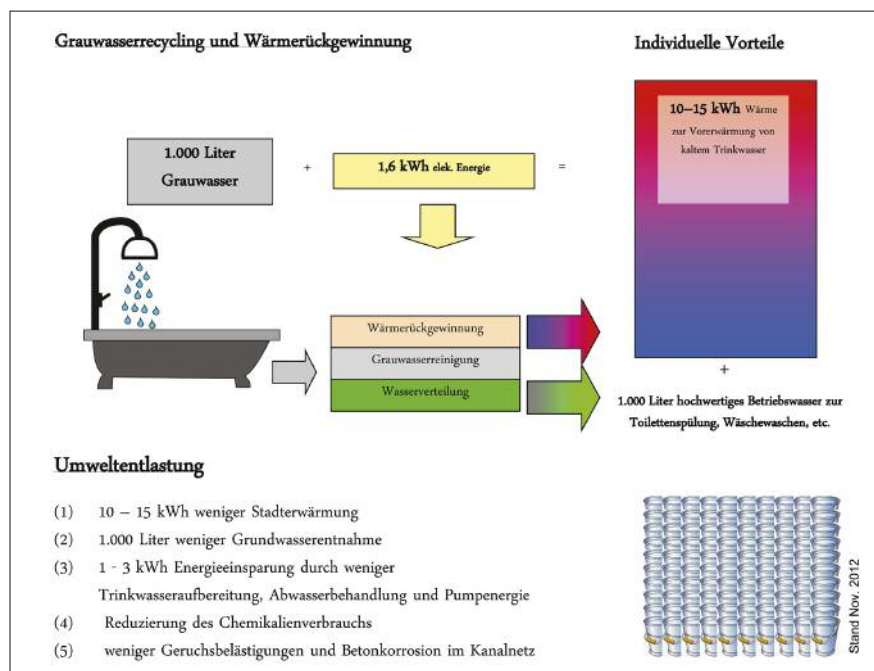


Abb. 1: Schematischer Aufbau der Grauwasserrecyclinganlage mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung.

Wohnfläch	4.600 m ²	Gewerbefläche	650 m ²
Anzahl der WE	41	Anzahl Gewerbeeinheiten	4
Grundstücksfläche	2.083 m ²	Gartenfläche	1.100 m ²
Jährl. Raumwärmebedarf	73.400 kWh/a	Jährl. Warmwasserwärmebedarf	103.636 kWh/a 284 kWh/d
Gas BHKW	16 kW _{ektr.} 35 kW _{therm.}	Photovoltaik 92 Module mit 20 kWp	18.000 kWh/a
Grauwasserrecycling	3 m ³ /d 1.100 m ³ /a	Wärmerückgewinnung	12,5 kWh _{therm.} /m ² 12.000 kWh/a

Tabelle 1: Gebäude- und Anlagendaten Passivhaus am Arnimplatz (Heinhaus, 2012).

Der Energieverbrauch der gesamten Anlagentechnik ist mit 5 kWh/d relativ unabhängig davon, ob täglich 2.000 oder 3.500 l Grauwasser gereinigt werden. Leichte Schwankungen im Tagesenergieverbrauch sind primär durch die Betriebswasserverteilung (0,3 kWh/m³) bedingt. Der Wärmeertrag hat im Monatsmittel August ein Minimum von 23,4 kWh erreicht. An einem Ferientag, mit nur 1,7 m³ Grauwasser lag der Wärmeertrag bei nur 16,1 kWh; bei 3,2 m³ Grauwasserzulauf wurden 32,6 kWh gemessen.

Der Wärmeertrag ist generell von der zulaufenden Grauwassermenge und dessen Temperatur, sowie der aktuellen Kaltwassertemperatur und dem Warmwasserbedarf, abhängig. Während Ende März – als die Trinkwassertemperatur noch 9°C betrug – 45 kWh aus 3,2 m³ Grauwasser gewonnen wurden, waren es im August 2012, bei einer Trinkwassertemperatur von 16°C (Medianwert) nur noch 32,6 kWh. Rein optisch war auch im August keine Belagbildung auf dem Wärmetauscher zu erkennen. Der Ertragsrückgang im Sommer ist damit in erster Linie auf die höhere Trinkwassertemperatur zurückzuführen.

Diskussion und Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Die Effizienz der Wärmerückgewinnung ist, wie Abbildung 3 zeigt, im dezentralen Grauwassersystem deutlich höher als bei zentralen Anlagen, wo dem Abwasser i. d. R. selten über 1,5 °C entzogen werden. Die wesentlichen Gründe dafür liegen u. a. darin, dass die Nitrifikation des kommunalen Abwassers auch im Winter gewährleistet sein muss. Für Abwasserwärmepumpen nennt Kobel (2008) Jahresarbeitszahlen meist um 3,1, in einem Fall soll sie sogar 5 betragen.

Bei einem Gesamteinsatz von „nur“ 1,6 kWh/d elektrischer Energie (Solarstrom) für Wärmerückgewinnung werden 1.000 Liter Grauwasser zu einem hochwertigen Betriebswasser aufbereitet und mit 4 bar verteilt. Im Winter wird dem Grauwasser sogar das

9-fache und im Sommer das 6-fache an Energie zurückgewonnen.

Neben der geringeren Grundwasserförderung, dem geringeren Energie- und Chemikalienverbrauch, die mit dem dezentralen Ansatz verbunden sind, soll hier auch auf positiven Auswirkungen auf die Wasserver- und -entsorgung hingewiesen werden.

Auswirkungen der dezentralen Wärmerückgewinnung auf das Ver- und Entsorgungsnetz

In der Berliner Innenstadt werden 15 °C Trinkwassertemperatur im Sommer ständig überschritten. Nach der alten DIN 2000 aus dem Jahr 1973 sollte die Temperatur vorzugsweise zwischen 8 und 12°C liegen, um möglichst erfrischend zu wirken (Althaus, 1987). Infolge der reduzierten Stadterwärmung durch Wärmerückgewinnung wird u. a. auch das Trinkwasserleitungsnetz weniger erwärmt. Im Gegensatz zur Wärmeabgabe, die reglementiert ist, führt die dezentrale Wärmeentnahme vor der Einleitung in den Schmutzwasserkanal eher zu Verbesserungen im Kanalnetz. Mit der Abkühlung des Abwassers ist eine höhere Sauerstoffaufnahme und eine geringere mikrobiologische Aktivität des Abwassers zu erwarten. Beides reduziert Geruchsemissionen und Korrosion im Kanalnetz.

Anlagenoptimierung

Da zum Zeitpunkt der Gebäudeplanung keine Wärmerückgewinnung aus Grauwasser vorgesehen war, wurde der Wärmeertrag nicht in die Energieberechnungen einbezogen. Durch den frühzeitigen Einbezug eines erfahrenen Fachplaners, der sich die Effizienzsteigerung des Gesamtsystems zur Aufgabe macht, lassen sich sowohl die Baukosten der Recyclinganlage als auch die Installationskosten für das zweite Leitungsnetz sowie die später anfallenden Betriebskosten in vielen Fällen deutlich reduzieren.

Betrachtet man den hier im Projekt deutlich höheren Warmwasserverbrauch im Ver-

gleich zum Grauwasseranfall, kann man leicht daraus schlussfolgern, dass mehr Wärmeenergie zurückgewonnen werden könnte, sobald mehr Grauwasser – also auch das aus dem Gewerbe und das von den Handwaschbecken und Waschmaschinen – in das System eingeleitet würde. Das hätte gleichzeitig den Vorteil von geringeren Trinkwassernachspeisungen. Die Planung des zweiten Leitungsnetzes sollte so erfolgen, dass wenn überhaupt, nur geringe Trinkwassernachspeisungen erforderlich sind und möglichst viele Möglichkeiten der Betriebswassernutzung realisiert werden.

Die statistischen Daten zum häuslichen Wasserbedarf (BDEW, 2012) stimmen nach eigenen Messungen – wenn überhaupt – nur selten mit der Projektrealität überein. Über Dusch- und Badewasser fällt in diversen Hotels mehr Grauwasser an, als dort an Betriebswasser für die Toilettenspülung benötigt wird. Im Wohnungsbereich (z. B. in Altenheimen), wo man sich auf das Grauwasser aus Badewannen und Duschen beschränkt, ist mit hohen Trinkwassernachspeisungen zu rechnen, was sich eher negativ auf die Anlageneffizienz auswirkt.

Wärmerückgewinnung im Kontext zur Solarthermie und Photovoltaik

Unterstellt man der Solarthermie einen Nutzen von 380 kWh_{therm.} pro Jahr und Quadratmeter Kollektorfläche, sowie 100 kWh_{elek.} pro Quadratmeter Fotovoltaikmodul und geht man ferner von durchschnittlich 12,5 kWh aus, die pro Kubikmeter Grauwasser täglich genutzt werden, substituiert die hier beschriebenen 3 Kubikmeter-Recyclinganlage über das Jahr betrachtet ca. 36 m² Solarthermiefläche. Mit der gleichen Fläche ließen sich stattdessen 3.600 kWh PV-Strom erzeugen, was etwa doppelt so viel ist, wie die kombinierte Grauwasserrecyclinganlage mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung jährlich an Strom benötigt. Ferner sei erwähnt, dass die Wärmerückgewinnungsanlage insbesondere im Winter den besten Wirkungsgrad erzielt, wenn die thermische Solaranlage wegen der kalten Umgebung so gut wie keinen Ertrag mehr erwirtschaftet. Die dezentrale Wärmerückgewinnung aus Grauwasser ist somit ein neuer, wichtiger Baustein zum Energie-Plus-Haus. Eine abschließende Kostenvergleichsbetrachtung für Solarthermie, Wärmepumpen und Wärmerückgewinnung aus Grauwasser steht noch aus.

Mögliche Entwicklung des Grauwasserrecyclings

Wenn zukünftig keine Spültoiletten mehr benötigt werden, weil man über Komposttoiletten oder Terra Preta-Systeme die >>

Toilettenwertstoffe zu einem wertvollen Bodenverbesserungsmittel bereitstellt, stellt sich die Frage, ob man dann noch Grauwasserrecycling braucht.

Ich meine ja. Die Zukunft liegt im Wasserbereich eindeutig bei mehr dezentralen Anlagen, weil diese – wie hier gezeigt – eindeutig ressourceneffizienter arbeiten, als rein zentrale Systeme.

Dass kleine Pumpen, wie sie in dezentralen Anlagen verwendet werden, noch nicht den Wirkungsgrad erzielen wie große Pumpen, ist eine Frage der Zeit. Neue Anforderungen werden dazu beitragen, dass sich die Effizienz von kleinen Pumpen deutlich verbessert wird.

Mit ein wenig mehr Aufwand als der, den wir heute betreiben, könnte das Betriebswasser ohne hygienisches Risiko auch zur Körperpflege verwendet werden. Wenn mehr umweltfreundliche Waschmittel verwendet würden, könnte Grauwasser problemlos mehrfach recycelt werden und die geringen Wassermengen, die der Mensch tatsächlich zum Trinken benötigt, werden in ausreichender Menge durch Regenwasser bereitgestellt, welches relativ einfach zu Trinkwasserqualität aufbereitet werden kann.

Überschüssiges Betriebswasser kann in den meisten Fällen für die Bewässerung von zusätzlichen Grünflächen verwendet werden, um damit mehr CO₂ zu binden und durch mehr Wasserverdunstung der Stadterwärmung etwas entgegenzusetzen. Über die Verdunstung von einem Kubikmeter Betriebswasser wird der Umgebung – ob im Gebäude oder im Stadtraum – 680 kWh Wärme entzogen. Mit Betriebswasser zu kühlen (adiabatische Kühlung) ist besonders effizient und umweltfreundlich. Elektrisch betriebene Klimaanlage

hingegen kühlen den Innenraum auf Kosten einer zusätzlichen Stadterwärmung, was die Wärmebelastung erhöht, zumal auch noch bei der Stromerzeugung für Klimaanlage zusätzliche Abwärme produziert wird.

Vorläufige Kostenbetrachtung

Der Bau der vergleichsweise noch aufwendigen Pilotanlage mit der entsprechenden Messtechnik inklusive der Installation der Grauwasserrecyclinganlage mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung und Umsatzsteuer – aber ohne das zweite Leitungsnetz – hat den Quadratmeterpreis der Wohnungen um insgesamt 11,30€ (brutto) verteuert, was bei Gesamtkosten von über 2.000€/m² eher bescheiden wirkt.

Dass sich diese Investition lohnt, zeigt sich durch die Reduzierung der zu entrichtenden Wasserkosten. Der gesamtenergetische Nutzen der dezentralen Technologie ist ohne Zweifel deutlich höher als der, der durch die jährliche Energieeinsparung für die Mieter auf dem ersten Blick sichtbar ist.

Ausblick

Neben einigen noch möglichen Optimierungen, die eine weitere Effizienzsteigerung zur Folge haben werden, ist auf politischer Ebene daran zu arbeiten, dass Gebäude nicht allein nach dem Primärenergiebezug, sondern dass sie zukünftig auch im Hinblick auf Wasser- und Nährstoffeffizienz beurteilt werden.

Wie man Toilettenwertstoffe am besten wieder in die landwirtschaftliche Nutzung zurückbringt, darüber mag noch diskutiert werden. Aber dass Grauwasser nicht mit den Toilettenwertstoffen vermischt werden darf, ist unstrittig; jeder Verfahrenstechnikstudent lernt bereits im ersten Semester „Dilution is

no Solution“. Dass jeder, der seine Toilette mit dem Lebensmittel Trinkwasser spült, dafür nur 7% Umsatzsteuer entrichtet, während alle Aufwendungen, die im Zusammenhang mit einer privaten Betriebswassernutzung und Effizienzsteigerung stehen, leider ausnahmslos mit 19% besteuert werden, ist ein falsches Signal für technische Innovationen.

Danksagung

Besonderer Dank gebührt der DBU, die dieses Projekt bis Januar 2013 fördert, dem Architekten Herrn Heinhaus sowie dem Bauherrn Herrn Grunow. Planung und Ausführung lagen ganz wesentlich in den Händen der Mitarbeiter Freudenberg und Sack, der Anlagenbau erfolgte durch Herrn Büttner (Fa. Lokus GmbH).

Literatur

- Althaus, H. (1987): in K. Aurand Hrsg.: *Die Trinkwasserverordnung*, Erich Schmidt Verlag, S. 306, Berlin.
- BDEW (2012): BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. http://www.bdew.de/internet.nsf/id/8DFG2N-DE_Grafiken; *Trinkwasserverwendung im Haushalt 2011 vom 1. November 2011*.
- BWB (2012): *Nachhaltig für Berlin – Nachhaltigkeitsbericht 2012 der Berliner Wasserbetriebe*, S. 24.
- Im Netz unter <http://www.bwb.de/content/language1/html/7198.php>
- fbr (2005): Herausgeber Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. *fbr-Hinweisblatt H 201, Grauwasser-Recycling – Planungsgrundlagen und Betriebshinweise*, April 2005, Darmstadt.
- Heinhaus, Uwe (2012): *Vortrag, Passiv Mietshaus am Arnimplatz, Berlin, Prenzlauer Berg, Werkbericht vom 21.08.2012 und mündliche Mitteilungen*.
- SenBauWohn (1995): Herausgeber Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen: *Betriebswassernutzung in Gebäuden – Auswertung der Berliner Modellvorhaben und der Betriebswassertagung vom 9.02.1995, Berlin 1995. Kostenlose Neuauflage in Netz unter: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/de/modellvorhaben/wasser/wasserkonzepte/index.shtml*
- Kobel, Beat (2008): *Abwasserwärmerückgewinnung – allgemein und konkret in Lyss*, Vortrag, Lyss, 3. Juli 2008.
- http://www.energiestadt.ch/ff/joomla/downloads/seminaires/Infrastructures/Vortrag_Lyss_Kobel.pdf

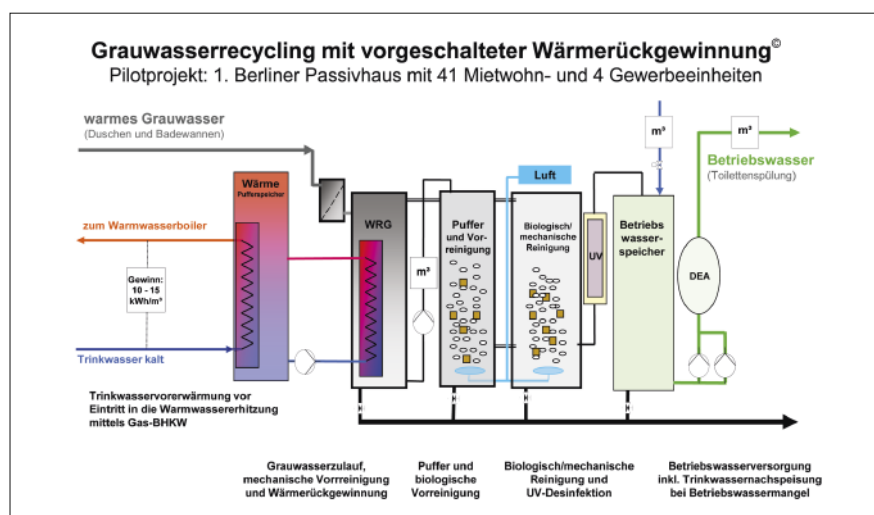


Abbildung 3: Umweltentlastung und individuelle Ersparnisse durch Grauwasserrecycling mit vorgeschalteter Wärmerückgewinnung.