

PONTOS®

hansgrohe

Endbericht : Projektnummer: 2006-06

**Entwicklung und Erprobung eines Anlagenkonzeptes zur
Wärmerückgewinnung und Wasserrecycling aus Grau-
wasser**



ISI

**Ökonomische und ökologische Analyse der Pilotanlage
OIKOS III**

Eve Menger-Krug

Felix Tettenborn

Thomas Hillenbrand

Harald Hiessl

Marc Erhardt

Mirko Gropp

Dezember 2010

Inhalt

1	Hintergrund	1
1.1	Beschreibung des Forschungsvorhabens	1
1.2	Aufbau der Studie	1
2	Einleitung	2
3	Zielsetzung	5
4	Erfahrungen aus der Pilotanlage	6
4.1	Beschreibung der Pilotanlage	6
4.2	Ausgewählte Messergebnisse der Pilotanlage	7
5	Ökonomische und ökologische Analyse	11
5.1	Vorgehensweise und Methoden	11
5.2	Beschreibung der Szenarien	12
5.3	Ausgewählte Ergebnisse der ökonomischen Analyse	15
5.4	Ausgewählte Ergebnisse der ökologischen Analyse	18
5.5	Analyse der Integration einer Wärmepumpe	20
6	Zusammenfassung der Ergebnisse	29
7	Fazit und Ausblick	31
8	Literatur	34

1 Hintergrund

1.1 Beschreibung des Forschungsvorhabens

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit der ökologischen und ökonomischen Analyse einer Grauwasseraufbereitungsanlage mit integrierter Wärmerückgewinnung. Die Arbeit wurde im Rahmen eines durch den Hersteller der Anlage (Pontos GmbH) beauftragten Forschungsvorhabens (2009-2010) mit Unterstützung des Innovationsfonds der Badenova AG durchgeführt.

Die Grauwasseraufbereitungsanlage mit integrierter Wärmerückgewinnung wird bei verschiedenen Randbedingungen ökologisch und ökonomisch bewertet (Arbeitspaket 1 und 2). Aus der Analyse werden Rückschlüsse gezogen werden auf vorteilhafte Randbedingungen, neue Einsatzmöglichkeiten und Ansätze zur Optimierung (Arbeitspaket 3).

1.2 Aufbau der Studie

Nach der Einleitung (Kapitel 2) und Zielsetzung der Studie (Kapitel 3) folgt eine Beschreibung von Erfahrungen aus der Pilotanlage (Kapitel 4) und ausgewählten Messergebnissen (Kapitel 4.2). In Kapitel 5 finden sich die Ergebnisse der ökonomischen und ökologischen Analyse. Dieses Kapitel beinhaltet auch die Beschreibung der verwendeten Methoden (Kapitel 5.1) und Szenarien (Kapitel 5.2). Die Studie schliesst mit einem mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse (Kapitel 6) und Fazit und Ausblick (Kapitel 7).

2 Einleitung

Grauwasser aus Badewanne und Dusche eignet sich gut als Ressource für Wasserwiederverwendungsmaßnahmen, da es im Vergleich zu Mischabwasser deutlich weniger belastet ist. Weiterhin ist Grauwasser gut geeignet als Ressource zur Wärmerückgewinnung, da es ganzjährig hohe Temperaturen aufweist. Daher bietet sich eine Kombination von stofflichem Wasserrecycling und Recycling der Wärmeenergie an.

Die Pontos GmbH hat mit dem AquaCycle HC eine solche integrierte Technologie zur Marktreife gebracht (im Folgenden Pontos-Anlage¹ genannt). Das Grauwasser wird in der Pontos-Anlage im Gebäude (dezentral) aufbereitet. Das aufbereitete Grauwasser, Betriebswasser genannt, erfüllt die hygienischen Anforderungen der EU-Richtlinie für Badegewässer und kann Trinkwasser aus dem Versorgungsnetz in verschiedenen Anwendungen, wie Toilettenspülwasser, Bewässerung von Zierpflanzen, Gebäude- und Straßenreinigung, substituieren.



Abbildung 1: Schematische Darstellung der Kombination von stofflicher und energetischer Wiederverwertung des Grauwassers in der Pontos-Anlage

Dem Grauwasser wird während der Aufbereitung im Pontos AquaCycle HC die thermische Energie mittels eines integrierten Wärmetauschers entzogen und in einen Wärmespeicher überführt. Wasser hat eine hohe Wärmespeicherkapazität von $1,2 \text{ kWh/m}^3\text{K}$. 1 m^3 Grauwasser können bei einer Abkühlung um 10°C etwa 10 kWh thermische Energie entzogen werden. Um diese Menge thermischer Energie über einen fossilen Energieträger bereitzustellen, ist bspw. eine Menge von $\sim 1 \text{ m}^3$ Erdgas notwendig. In einem „Standard“-Gebäude ohne Grauwasser-Wärmerückgewinnung verschwinden mit dem ungenutzten Grauwasser beträchtliche Mengen an thermischer Energie ungenutzt in der Kanalisation. Die thermische Energie, die dem Grauwasser

¹ Wenn nicht explizit „ohne Wärmerückgewinnung oWRG“ vermerkt ist, bezieht sich der Term „Pontos-Anlage“ auf die Anlage mit Wärmerückgewinnung

entzogen wird, kann bspw. zur Vorerwärmung des zulaufenden Trinkwassers vor der Warmwasserbereitung genutzt werden, das Temperaturniveau liegt bei etwa 25°C (Niedertemperaturbereich).

Betrachtet man den Energieverbrauch entlang der Ver- und Entsorgungskette von Wasser/Abwasser, wie in Abbildung 2 dargestellt, wird deutlich, dass in dieser Kette die Warmwasserbereitstellung der größte Energieverbrauchsposten ist². Für die Warmwasserbereitung wird ungefähr dreimal soviel Primärenergie verwendet wie für Trinkwasser/Abwasser-Transport und Aufbereitung. Diese Energie bleibt als thermische Energie im Wasser gespeichert und kann teilweise zurückgewonnen werden. In einem „Standard“-Gebäude ohne Pontos-Anlage verschwinden mit dem ungenutzten Grauwasser beträchtliche Mengen an thermischer Energie ungenutzt in der Kanalisation. Somit ist die Wiedergewinnung der thermischen Energie aus Grauwasser auch aus Sicht der Wasserwirtschaft ein wichtiger Ansatzpunkt für eine Erhöhung der Energieeffizienz des Gesamt-Systems.

Das Subsystem „Grauwasserrecycling mit Wärmerückgewinnung“ beeinflusst die gesamte Ver- und Entsorgungskette von Wasser/Abwasser, wie in Abbildung 2 schematisch gezeigt. Es reduziert die Trinkwasser- und die Abwassermengen (Verringerung von Wasser- und Energieverbrauch) und es verringert den Energiebedarf für die Warmwasserbereitung im Haushalt. Deshalb müssen die Systemgrenzen für die ökologische und ökonomische Bewertung entsprechend weit gewählt werden. Die Kosten, sowie Ressourcenverbrauch und die Emissionen von Trinkwasseraufbereitung und -verteilung, sowie Abwassertransport und -aufbereitung müssen mit in die Untersuchung einbezogen werden.

² Datengrundlage siehe Menger-Krug in Wietschel et al. 2010: Energietechnologien 2050 (<http://www.energietechnologien2050.de/>)

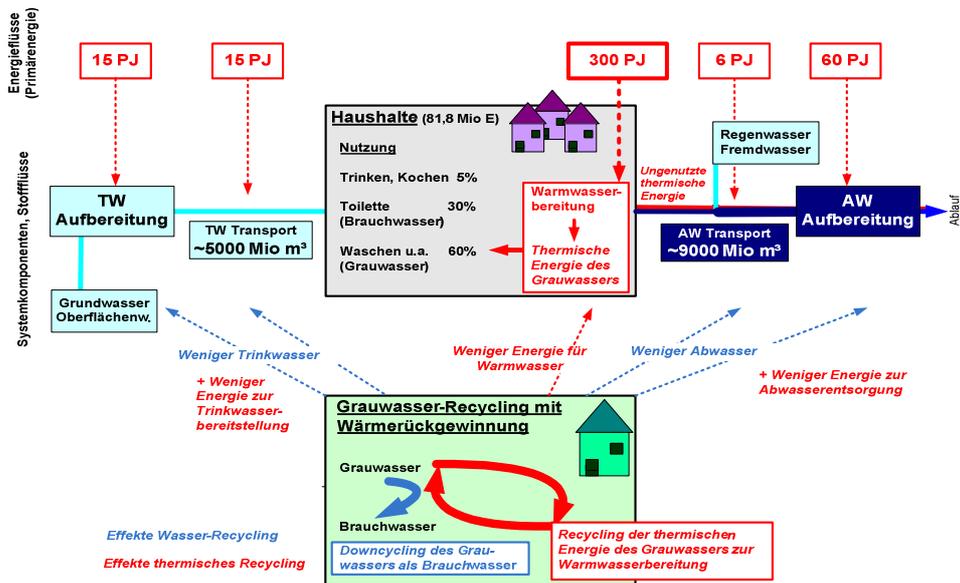


Abbildung 2: Einfluss des Subsystems „Grauwasser-Recycling mit Wärmerückgewinnung“ auf das Gesamtsystem mit Trinkwasserversorgung, Abwasserentsorgung und Warmwasserbereitung (Daten sind deutsche Durchschnittswerte, Abbildung aus Menger-Krug in Wietschel et al. 2010: Energietechnologien 2050 (<http://www.energietechnologien2050.de/>))

3 Zielsetzung

In Zusammenarbeit mit dem Studentenwerk Freiburg wurde in einem neugebauten Studentenwohnheim im Freiburger Stadtteil Vauban 2008 eine Pilotanlage zum Grauwasserrecycling mit integrierter Wärmerückgewinnung (Pontos AquaCycle HC), gefördert aus dem Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der Badenova AG & Co. KG, in Betrieb genommen. Die Pilotanlage ist im Rahmen eines umfassenden Messprogramms untersucht worden. Über die Erfahrungen und ausgewählte Ergebnisse wird im folgenden Kapitel berichtet.

Aufbauend auf diesen Erfahrungen erfolgte im Rahmen des ebenfalls über den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz von Badenova AG & Co. KG geförderten, wissenschaftlichen Begleitprojektes eine ökologische und ökonomische Bewertung des Konzeptes durch das Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Karlsruhe). Basierend auf den gesammelten Daten werden verschiedene Szenarien untersucht, um wichtige Randbedingungen für einen ökonomisch und ökologisch vorteilhaften Einsatz des Pontos AquaCycle HC mit integrierter Wärmerückgewinnung (Heat-Cycle) zu identifizieren.

Für die ökonomische Analyse werden dabei die Einsparungen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Preisen für Trinkwasser, Abwasser und Heizenergie, sowie verschiedenen Teuerungsraten analysiert. Für die ökologische Analyse werden die Einsparungen an Wasser, Primärenergie und CO₂ genauer betrachtet. Wichtige Randbedingungen sind die Art des Heizungssystems, der (mengenabhängige) Energiebedarf zur Trinkwasseraufbereitung und -verteilung, sowie zur Abwasserableitung und -aufbereitung und die Trinkwassernetzverluste. In Kapitel 5 werden die Szenarien und die wichtigsten Ergebnisse der ökologischen und ökonomischen Bewertung vorgestellt.

4 Erfahrungen aus der Pilotanlage

4.1 Beschreibung der Pilotanlage

Das Studentenwohnheim bietet Platz für 65 Bewohner, die in Vier- und Fünzimmerwohnungen aufgeteilt sind. Insgesamt sind 15 Wohnungen und 30 Bäder mit jeweils einer Toilette und einer Bade/Duschkombination an die Anlage angeschlossen. Im Schnitt fallen täglich etwa 4 m³ Grauwasser an von denen ca. 2 m³ als aufbereitetes Betriebswasser für die Toilettenspülung benötigt werden. Die Anlage läuft seit Oktober 2008 ohne nennenswerte Probleme. Es wurde keine Beeinträchtigung der biologischen Reinigungsleistung durch den Wärmeentzug festgestellt.

Die erste biologische Reinigungsstufe des AquaCycle HC bildet gleichzeitig einen Wärmespeicher bzw. Wärmepuffer, aus dem der Wärmetauscher die thermische Energie kontinuierlich entziehen kann. Der Wärmetauscher kann deshalb wesentlich kleiner dimensioniert werden als in einem Durchlaufsystem. Für die biologische Reinigung wird ein Wirbelbett verwendet. Die Bewegung des Trägermaterials (Schaumstoffwürfel) hält die Oberfläche des Wärmetauschers durch mechanischen Abrieb sauber. So werden Verminderungen der Wärmeübertragungseffizienz durch Bewuchs der Wärmetauscheroberfläche verhindert. Ein weiterer Vorteil der Systemkonfiguration ist der verbesserte Wärmeübergang durch die Turbulenzen im Wirbelbett.

Das eigentliche Aufbereitungsverfahren des Grauwassers in Form einer Vorfiltration, zweistufiger aerober biologischer Aufbereitung mittels Wirbelbett und nachgeschalteter UV-Desinfektion wird dabei nicht verändert.

Die Übertragung der Wärme aus dem Grauwasser auf das zufließende Trinkwasser erfolgt über ein Zwischenmedium und zwei Wärmetauscher, um nach DIN EN 1717 (2001) Kontaminierungen auszuschließen.

Somit sind zwei Wärmetauscher notwendig. Der Grauwasserwärmetauscher ist in der ersten Stufe der biologischen Aufbereitung eingebaut. Durch diesen Wärmetauscher fließt das Wärmeübertragungsmedium, welches dem Hygienespeicher an der tiefsten Stelle entnommen wird. Im Hygienespeicher wird der temperaturabhängige Dichteunterschied von Wasser ausgenutzt. Dieser Hygienespeicher ist ebenfalls mit einem Wärmetauscher ausgestattet, durch welchen das zur erwärmende Trinkwasser fließt (siehe Abbildung 3). Dadurch ist zum einen die erforderliche Trennung durch ein Zwischenmedium zwischen Grauwasser und Trinkwasser gegeben. Zu anderen müssen der Wärmeentzug aus dem Grauwasser und die Vorerwärmung des Trinkwassers nicht zwingend zeitgleich stattfinden. Ist dem Grauwasser die Wärme entzogen oder der

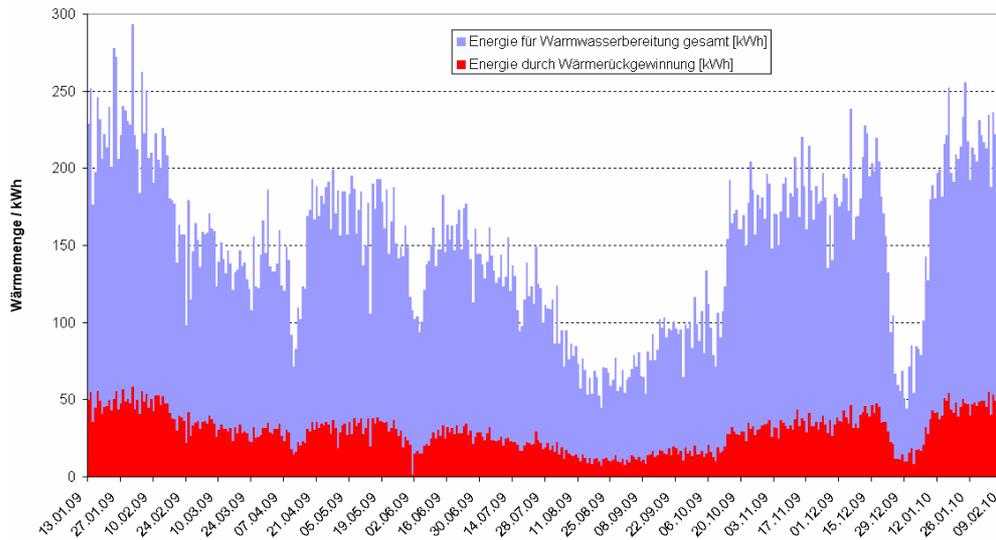


Abbildung 4: Gegenüberstellung Energie für WW-Bereitung gesamt und Energie durch Wärmerückgewinnung

Ein Vorteil der Wärmerückgewinnung aus Grauwasser ist die saisonale Unabhängigkeit, da Grauwasser ganzjährig und unabhängig von der Witterung anfällt.

Als größter Einflussfaktor auf die Leistungsfähigkeit der Wärmerückgewinnung hat sich die Zulauftemperatur des Trinkwassers erwiesen. Diese Temperatur markiert die theoretisch tiefste zu erreichende Temperatur des Grauwassers.

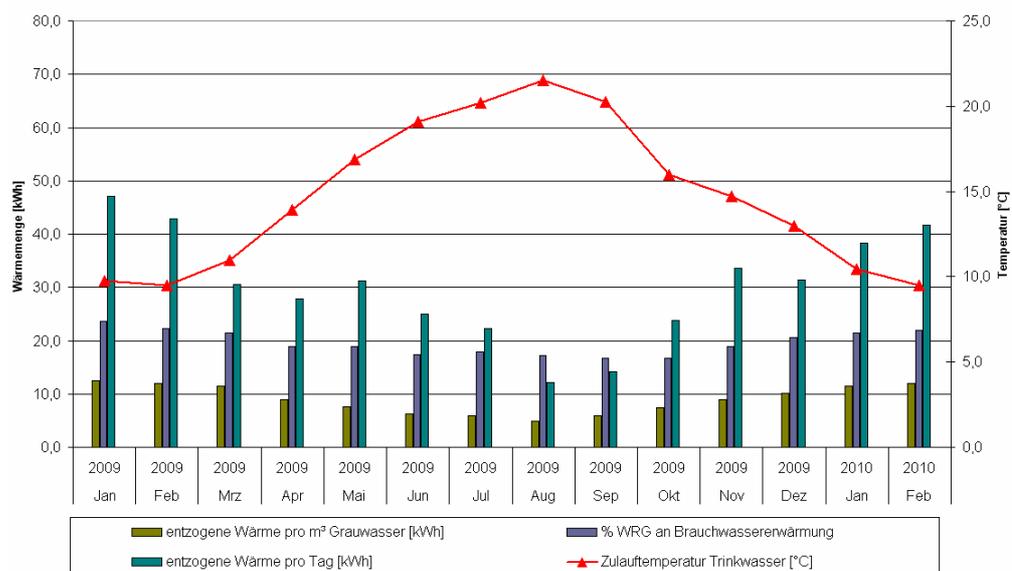


Abbildung 5: Gegenüberstellung Zulauftemperatur Trinkwasser und Menge der entzogenen Wärme

In Abbildung 5 ist diese Abhängigkeit dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass die Zulauftemperatur im Fall Freiburg saisonal sehr stark variiert. Im Sommer wurden Trinkwasserzulauftemperaturen von bis zu 22°C und in den Wintermonaten Temperaturen von ca. 9°C gemessen. Je kälter das Trinkwasser dem System zufließt, umso effizienter funktioniert die Wärmerückgewinnung.

Basierend auf den bisherigen Ergebnissen, ist in Abbildung 6 die Abhängigkeit der gewonnenen Wärme und der erreichten Temperaturerhöhung von der Zulauftemperatur des Trinkwassers grafisch aufgetragen.

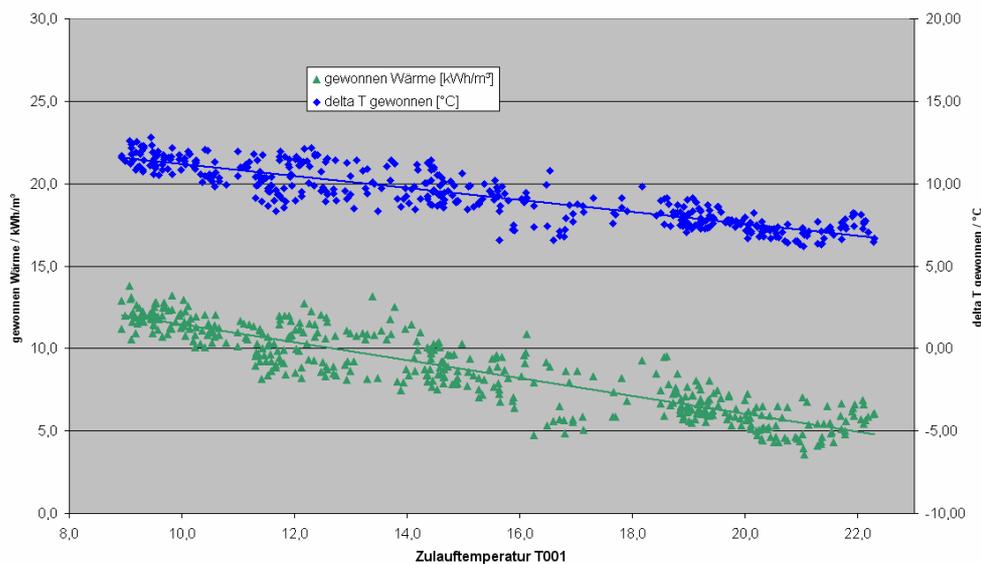


Abbildung 6: Abhängigkeit der gewonnenen Wärme in Bezug auf die Zulauftemperatur des Trinkwassers

Wie in Abbildung 6 zu sehen, liegt eine große Streuung der Ergebnisse vor. Dennoch ist eine klare Tendenz zu erkennen: Mit fallender Zulauftemperatur steigt die gewonnene Wärme und die Temperaturerhöhung zwischen zulaufendem Trinkwasser und vorerwärmten Warmwasser (Delta T gewonnen).

Als zweiten großen Einflussfaktor auf die Effizienz des Systems hat sich die Temperaturschichtung im Hygienespeicher herausgestellt. Eine hydraulische Durchmischung,

welche eine Verschlechterung der Temperaturschichtung verursacht, sollte vermieden werden.

5 Ökonomische und ökologische Analyse

5.1 Vorgehensweise und Methoden

Für die ökonomische Analyse werden zunächst wichtige Randbedingungen identifiziert und deren Bandbreite beschrieben. Daraus werden verschiedene Szenarien abgeleitet und analysiert. Als Parameter dienen Investitionskosten, jährlicher Rücklauf und Nettobarwert in den verschiedenen Szenarien.

Investitionskosten setzen sich zusammen aus den Kosten für die Anlage, Verrohrung, WRG-Modul, Montage, (optionalem) Wärmespeicher und Mehrwertsteuer. Dabei sind die Kosten für die Verrohrung (und MwSt.) flexibel, während die übrigen Posten in allen Szenarien gleich sind³.

Der jährliche Rücklauf setzt sich zusammen aus folgenden Komponenten (unter Berücksichtigung verschiedener Teuerungsrate für Wasser und Energie):

- Einsparungen Trinkwasser/Abwasser (Teuerungsrate TW/AW)
- Einsparungen Heizenergie (Teuerungsrate Energie)
- Mehrausgaben Strom (Teuerungsrate Energie)
- Mehrausgaben Wartung und Verschleiß (pauschal)

Der Nettobarwert (NBW) (auch **Kapitalwert**, Barwert oder *Net Present Value (NPV)* genannt) ist eine Methode zur dynamischen Investitionsrechnung

- Abzinsung auf den Beginn der Investition mit einem angenommenen Diskontierungszinssatz von 3%

Analog zur Vorgehensweise bei der ökonomischen Analyse werden für die ökologische Analyse wichtige Randbedingungen beschrieben und deren Bandbreite untersucht. Darauf aufbauend werden Szenarien abgeleitet, um den Einsatz der Anlage bei unterschiedlichen Bedingungen abzuleiten.

Dabei werden die Einsatz-Szenarien und die Technik-Szenarien beibehalten, die im Vorherigen Kapitel beschrieben sind. Anstelle der monetären Einsparungen durch

³ ausgenommen Ho2 und Sb2, die von einer größeren Anlage [AC4500] ausgehen. Diese wird in Absprache mit AG als zwei kleine Anlagen [AC2500] dargestellt

Einsparung von Trinkwasser/Abwasser und Heizenergie treten die Einsparungen von Ressourcen und damit verbundenen Emissionen. Anstelle der monetären Ausgaben durch den Stromverbrauch der Anlage treten der Ressourcenmehrverbrauch zur Stromerzeugung und die entstehenden Mehremissionen.

Zur Bilanzierung der Umweltauswirkungen werden Wasser- Energie- und CO₂-Bilanz verwendet. Sie erfassen jeweils einen Parameter während der Betriebsphase der Anlage (Wasser, Primärenergie und CO₂). Die Wasserbilanz zeigt die eingesparten Mengen an Trinkwasser (inklusive Trinkwassernetzverlusten) und Abwasser. Die Energiebilanz beschreibt alle Energieflüsse im betrachteten System, umgerechnet in Primärenergie. Dazu gehören die thermische Energie zur Warmwasserbereitung, sowie die elektrische Energie zum Betrieb der Pontos-Anlage und zur Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Der Umrechnungsfaktor von elektrischer Energie zu Primärenergie wird mit 2,88 zugrunde gelegt (entspricht 35% elektrischer Wirkungsgrad), und der Umrechnungsfaktor von thermischer Energie zu Primärenergie mit 1,1 (entspricht 90% thermischer Wirkungsgrad).

Die CO₂-Bilanz (auch CO₂-Fußabdruck genannt) beschreibt die Emissionen des Treibhausgases CO₂ im betrachteten System. Zur Berechnung der CO₂-Emissionen wird auf durchschnittliche Emissionsfaktoren zurückgegriffen, wie in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Durchschnittliche Emissionsfaktoren [kg/kWh] ⁴

CO₂-Emissionen in kg/kWh	
CO₂ Emissionen Strom	0,54
CO₂ Emissionen TE	0,3

5.2 Beschreibung der Szenarien

Die Rahmenbedingungen des Einsatzes der Anlage, wie durchschnittlicher Grauwasseranfall und Betriebswasserbedarf, sowie Verrohrungskosten, basieren auf den ermittelten Werten der Pilotanlage. Als Investitionskosten wird der Listenpreis einer entsprechenden Anlage zugrunde gelegt.

Die technische Performance der Anlage wird in drei Technikszenarien dargestellt. Technikszenario1 (oWRG) bildet eine Anlage ohne Wärmerückgewinnung ab, Tech-

⁴ <http://www.probas.umweltbundesamt.de/>

nikszenario2 und Technikszenario3 bilden eine Anlage mit Wärmerückgewinnung ab. Technikszenario2 (BAU) weist einen höheren Stromverbrauch und eine niedrigere Wärmeübertragungseffizienz auf als das optimistischere Technikszenario3 (OP). Die in der Pilotanlage ermittelte durchschnittliche Wärmeübertragungseffizienz liegt bei etwa 8 kWh/m³. Nach der in Messungen ermittelten Temperaturabhängigkeit entspricht dieser Wert durchschnittlichen Trinkwasserzulauftemperaturen von >14°C. Der Wert für das optimistische Szenario (OP) werden mit 12 kWh/m³ angesetzt. Nach den in der Pilotanlage gesammelten Erfahrungen, entspricht dieser Wert einer durchschnittlichen Trinkwasserzulauftemperaturen von <10°C.

Für die ökonomische Analyse werden zwei Hintergrundszenerien erstellt, die ungünstige bzw. günstige Randbedingungen abbilden. Durch Kombination von Technikszenarien und ökonomischen Hintergrundszenerien ergeben sich insgesamt 6 Szenarien, wie in Abbildung 7 gezeigt.

Szenario_Name	Filterverlust	Stromverbrauch Anlage [kWh/m ³]	Effizienz Rückgewinnung [kWh/m ³]	Lokaler Preis Wasser/Abwasser	Preis Strom	Preis Wärme	Teuerungsrate Wasser	Teuerungsrate Energie	Sonstige Betriebskosten	Randbedingungen
oWRG -	0,95	1,7	0	4	-0,22	0,07	1,01	1,02	-325	un-günstig
BAU -	0,95	2	8							
OP -	0,95	1,5	12							
oWRG +	0,95	1,7	0	5				1,05		günstig
BAU +	0,95	2	8							
OP +	0,95	1,5	12							
	<i>Technikszenario</i>			<i>Ökonomisches Hintergrundszenerio (Werte in €)</i>						

© Fraunhofer ISI

Abbildung 7: Schema der Kombination von Technikszenarien und ökonomischen Hintergrundszenerien für die ökonomische Analyse (Hinweis: Stromverbrauch Anlage [kWh/m³ Betriebswasser], Effizienz Rückgewinnung [kWh/m³ Grauwasser])

Der zugrundegelegte Preis für Trinkwasser und Abwasser (pro m³) bei ungünstigen ökonomischen Randbedingungen entspricht dem Durchschnittspreis in Deutschland 2007 (Kubikmeterpreis 2007: 1,60 € Trinkwasser und 2,30 € Abwasser,

LAMP/GRUNDMANN 2009). Bei günstigen ökonomischen Randbedingungen wird der Preis mit 5 € zugrunde gelegt. Als Teuerungsrate wird ein Wert von 1% gewählt.

Die Kosten für Energie stammen aus den Energiepreisstatistiken des BMWi (Bezugsjahr 2008, BMWi 2010), als Teuerungsrate wird bei ungünstigen ökonomischen Randbedingungen 2% zugrunde gelegt, bei günstigen ökonomischen Randbedingungen 4%. Diese Werte sind moderat gewählt, im Vergleich zu 5-10%, die bspw. von der Agentur für Erneuerbare Energien für Kostenberechnungen zugrunde gelegt werden (AEE 2010).

Für das Heizungssystem zur Warmwasserbereitung wird die Annahme getroffen, dass es sich um eine moderne effiziente Gasheizung handelt (90% thermischer Wirkungsgrad). Bei einem ineffizienteren Heizsystem wären die (finanziellen und ökologischen) Einsparungen durch den Einsatz der Grauwasserrecyclinganlage mit Wärmerückgewinnung entsprechend größer.

Analog zum Vorgehen bei der ökonomischen Analyse, werden für die ökologische Analyse zwei Szenarien erstellt, die ungünstige bzw. günstige ökologische Randbedingungen abbilden. „Günstige ökologische Randbedingungen“ in diesem Kontext sind Randbedingungen, bei denen der ökologische Vorteil durch den Einsatz der Grauwasserrecyclinganlage mit WRG besonders deutlich ist. Die variierten Parameter umfassen den Stromverbrauch zur Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung und die Trinkwassernetzverluste. Die Werte für die CO₂-Emissionsfaktoren für Wärme und Strom basieren auf aktuellen Angaben aus der Bibliothek für Lebenszyklusdaten ProBas des Umweltbundesamtes (UBA 2010).

Ökologische Randbedingungen	Stromverbrauch TW	Netzverluste	Stromverbrauch AW	Emissionsfaktor CO ₂ -Strom	Emissionsfaktor CO ₂ -Wärme	Umrechnungsfaktor Strom · PE
ungünstig	0,6	1,08	0,3	0,54	0,3	2,88
günstig	0,9	1,12	0,66			

Ökologische Hintergrundszenerien Fraunhofer

Abbildung 8: Hintergrundszenerien für die ökologische Analyse

Der Stromverbrauch pro m³ Trinkwasseraufbereitung wird in Abhängigkeit von den Randbedingungen mit 0,3 kWh/m³ bzw. 0,6 kWh/m³ angenommen, der Stromverbrauch zur Trinkwasserverteilung mit 0,3 kWh/m³ und die Trinkwassernetzverluste mit 8% (Durchschnittswert) bzw. 12%. Die aufgeführten Werte basieren auf einer aktuellen Literaturübersicht in HILLENBRAND 2009 und MENGER-KRUG 2010, in der unter anderem Umwelterklärungen großer deutscher Wasserversorger ausgewertet werden.

Laut HABERKERN/MAIER/SCHNEIDER 2008 beträgt Stromverbrauch für die Abwasserentsorgung pro Einwohner und Jahr in Deutschland durchschnittlich 35 kWh/E*a. Ein Großteil der Energie wird für die Belüftung verbraucht (80%). Die notwendige Belüftungsintensität ist abhängig von Abwasservolumen und CSB-Fracht. Durch den Einsatz des Pontos AquaCycle HC, werden das Abwasservolumen sowie die CSB-Fracht, die die Kläranlage erreichen, reduziert. Zur Abschätzung der Stromeinsparungen pro m³ vermiedenem Abwasser, wird in den Szenarien davon ausgegangen, dass 80% der durchschnittlich pro m³ Abwasser benötigten Energie eingespart werden. In großen Anlagen liegt der Durchschnitt bei 32 kWh/E*a (GK5), bei kleinen Anlagen bei 75 kWh/E*a (GK1). Bei einer durchschnittlichen Abwassermenge von 88 m³/E*a (STAT. BUNDESAMT 2006) ergeben sich Werte von 0,29 kWh/m³ bzw. 0,68 kWh/m³.

Weitere mögliche Auswirkungen und Wechselwirkungen der reduzierten (Ab-) Wassermenge auf die Wasser- und Abwasserinfrastrukturen werden in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt.

5.3 Ausgewählte Ergebnisse der ökonomischen Analyse

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse des Forschungsprojektes „Ökonomische und ökologische Analyse einer Grauwasserrecycling-Anlage mit integrierter Wärmerückgewinnung bei verschiedenen Randbedingungen“ vorgestellt. In Abbildung 9 ist der jährliche Rücklauf bei ausgelasteter Anlage dargestellt. Der jährliche Rücklauf setzt sich zusammen aus den Mehrkosten durch den Stromverbrauch der Grauwasserrecycling-Anlage, den Einsparungen durch Minderverbrauch von Trinkwasser/Abwasser und den Einsparungen durch Minderverbrauch von fossiler thermischer Energie zur Warmwasserbereitung (Erdgas) bei den Technikszenarien mit Wärmerückgewinnung. Nicht dargestellt sind die mit 325 €/a veranschlagten Kosten für Wartung und Reparaturen.

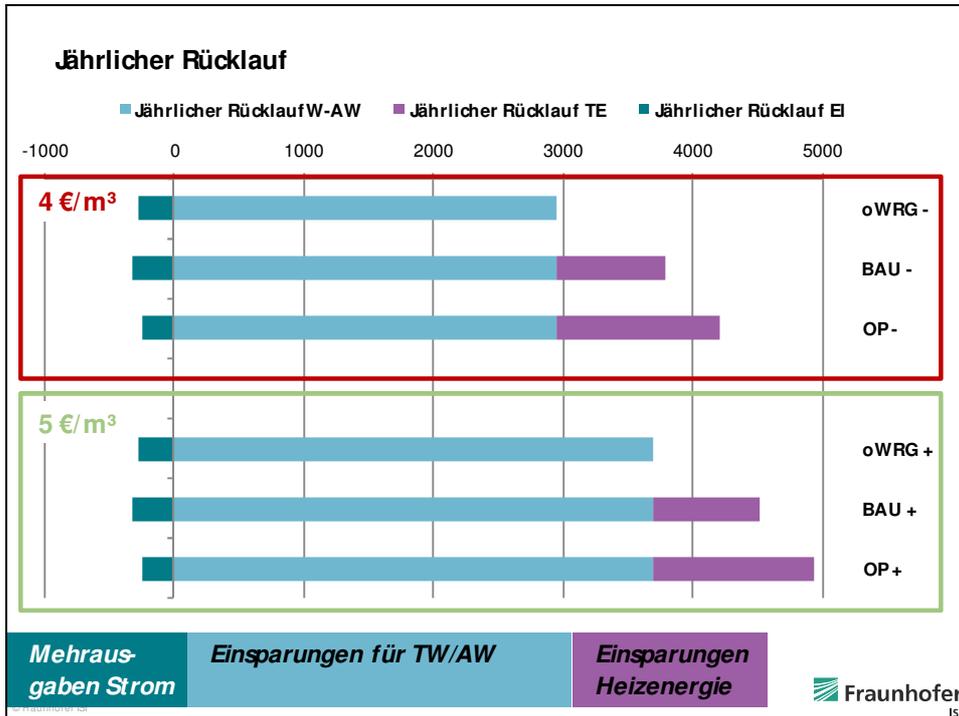


Abbildung 9: Jährlicher Rücklauf bei ausgelasteter Anlage

Der größte Posten des jährlichen Rücklaufs sind die Einsparungen bei Trinkwasser/Abwasser mit 3000 € bis 3500 € in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Preisen von 4 bzw. 5 €/m³. Demgegenüber liegen die Mehrkosten durch den Stromverbrauch der Grauwasserrecycling-Anlage im Betrag deutlich niedriger, sie liegen in der Größenordnung von 10% der Einsparungen bei Trinkwasser/Abwasser. Bei der Grauwasserrecycling-Anlage mit Wärmerückgewinnung gibt es zusätzliche Einsparungen durch Minderverbrauch von thermischer Energie zur Warmwasserbereitung (Primärenergieträger Gas) in der Größenordnung von rund 1000 € +/- 20% (800 € im pessimistischen Technikszenario BAU und 1200 € im optimistischen Technikszenario OP). Dem höheren Rücklauf in den Technikszenarien mit Wärmerückgewinnung vs. ohne Wärmerückgewinnung stehen etwa 25% höhere Investitionskosten für Wärmetauscher, Wärmespeicher und Verrohrung gegenüber.

In Abbildung 10 ist der Nettobarwert der Grauwasserrecycling-Anlage mit und ohne Wärmerückgewinnung über 15 Jahre bei ungünstigen und günstigen Randbedingungen dargestellt. Der Diskontierungszinssatz ist mit 3% zugrundegelegt.

Ein Nettobarwert (NBW) von größer Null bedeutet, dass die Grauwasserrecycling-Anlage wirtschaftlich vorteilhaft ist im Vergleich zu einer verzinsten Kapitalanlage. Die

Amortisationszeit liegt bei schlechten Randbedingungen etwas über 10 Jahre, bei guten Randbedingungen unter 10 Jahren.

Die Integration der Wärmerückgewinnung verbessert die Wirtschaftlichkeit der Grauwasserrecycling-Anlage. Der Anstieg der Nettobarwerte über die Zeit ist deutlich steiler in den Technikszenarien mit Wärmerückgewinnung, so dass die höheren Investitionskosten nach 6 Jahren im optimistischen Technikszenario OP und nach 11 Jahren im pessimistischen Technikszenario BAU ausgeglichen sind. Im optimistischen Technikszenario OP liegt die Amortisationszeit auch bei schlechten ökonomischen Randbedingungen unter 10 Jahren.

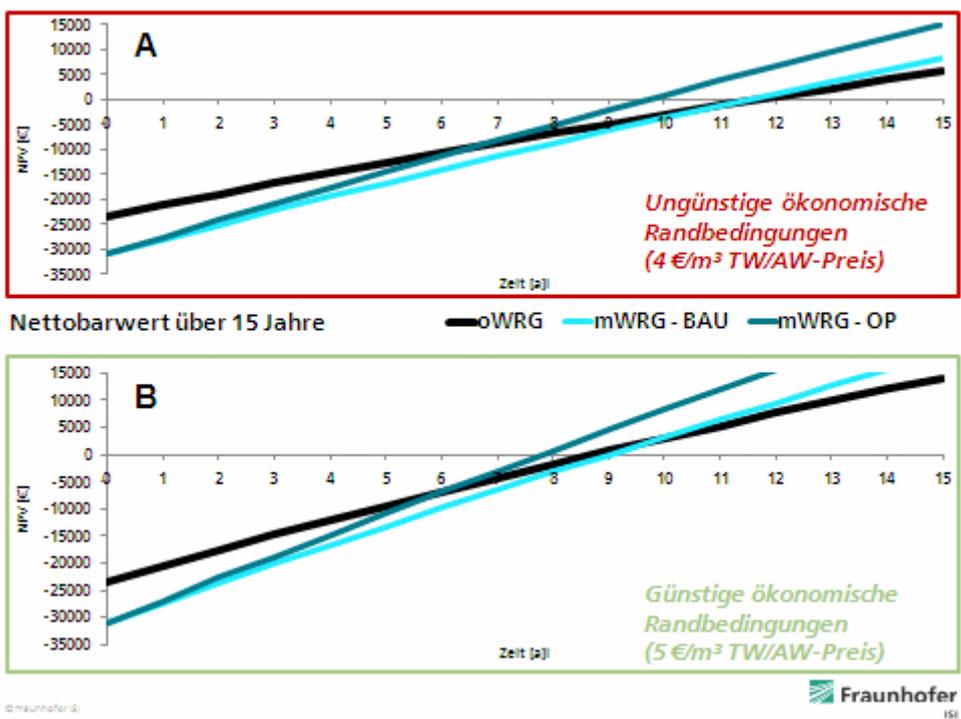


Abbildung 10: Nettobarwert über 15 Jahre bei ungünstigen und günstigen ökonomischen Randbedingungen

5.4 Ausgewählte Ergebnisse der ökologischen Analyse

Für die ökologische Analyse werden Bilanzen für Wasser, Primärenergie und CO₂ für die Betriebsphase der Grauwasserrecycling-Anlage mit und ohne WRG erstellt. Dafür wird das Technikszenario oWRG und das pessimistische Technikszenario mit WRG (BAU) kombiniert mit ungünstigen ökologischen Randbedingungen um einen unteren Wert zu erhalten. Das optimistische Technikszenario OP und ein optimiertes Technikszenario ohne WRG mit vermindertem Stromverbrauch (1,2 kWh/m³ aufbereitetes Betriebswasser), werden mit günstigen ökologischen Randbedingungen kombiniert, um einen oberen Wert zu erhalten.

In Abbildung 11 ist die jährliche Wasserbilanz der Szenarien dargestellt. Der Trinkwasserverbrauch beinhaltet Wasser für die Duschen und die Toilettenspülung. Die Einsparungen von Trinkwasser ab Wasserwerk inklusive der Netzverluste betragen rund 800 m³/a gegenüber dem Vergleichsfall ohne Grauwasserrecycling-Anlage. Die Einsparungen von Abwasser betragen rund 700 m³/a.



Abbildung 11: Jährliche Wasserbilanz

In Abbildung 12 ist die jährliche Primärenergiebilanz dargestellt. Bei der Grauwasserrecycling-Anlage mit WRG (oben) wird die Primärenergiebilanz dominiert durch die Einsparungen von fossiler thermischer Energie zur Warmwasserbereitung. Sie liegen bei ungünstigen ökologischen Randbedingungen bei 10 MWh/a und bei günstigen öko-

logischen Randbedingungen bei 16 MWh/a. Sie liegen deutlich höher als die Primärenergieeinsparungen durch Verminderung der Trinkwasser- und Abwassermenge mit 2 - 4 MWh/a. Der Mehraufwand an Primärenergie für den Betrieb der Grauwasserrecycling-Anlage liegt als Betrag in derselben Größenordnung, bei 4 bzw. 2 MWh/a.

In der Bilanz ergeben sich für die Grauwasserrecycling-Anlage mit WRG jährliche Primärenergieeinsparungen 10 - 18 MWh/a. Bei der Grauwasserrecycling-Anlage ohne WRG ergeben sich bei günstigen ökologischen Randbedingungen geringe Primärenergieeinsparungen, bei ungünstigen ökologischen Randbedingungen dagegen ein geringer Primärenergieverbrauch von rund 1,5 MWh/a.

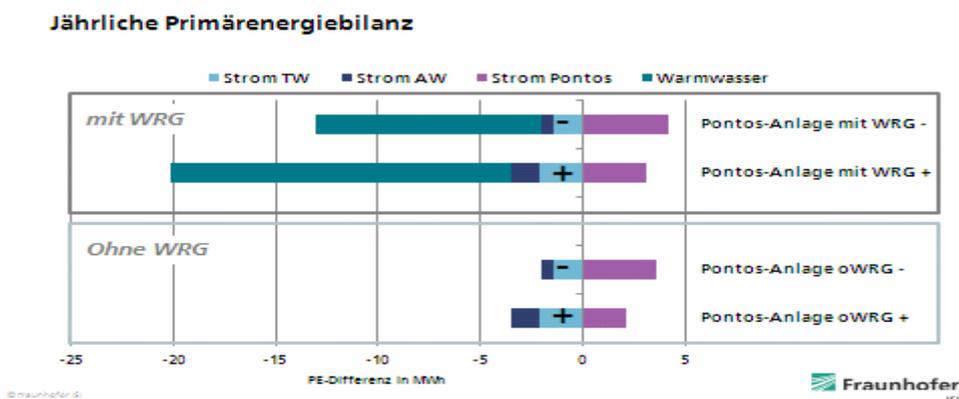


Abbildung 12: Jährliche Primärenergiebilanz

In Abbildung 13 ist die jährliche CO₂-Bilanz dargestellt. Analog zur Primärenergiebilanz, wird auch die CO₂-Bilanz der Grauwasserrecycling-Anlage mit WRG dominiert durch die CO₂-Einsparungen durch Minderverbrauch von fossiler Energie für die Warmwasserbereitung. Insgesamt liegen die CO₂-Einsparungen durch die Grauwasserrecycling-Anlage mit WRG bei 3 - 5 t/a gegenüber dem Vergleichsfall ohne Grauwasserrecycling-Anlage. Für die Grauwasserrecycling-Anlage oWRG gibt es in Abhängigkeit von den Randbedingungen geringe CO₂-Einsparungen oder geringe CO₂-Mehremissionen von <0,2 t/a.

Bei der Grauwasserrecycling-Anlage ohne WRG ergeben sich die gleichen Wassereinsparungen wie bei der Anlage mit WRG, allerdings ist sie ausgehend von der Primärenergie- und CO₂-Bilanz nur bei günstigen Randbedingungen als leicht vorteilhaft zu

bewerten. Bei ungünstigen Randbedingungen ergeben sich leichte ökologische Nachteile bezüglich Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen gegenüber dem Vergleichsfall ohne Grauwasserrecycling-Anlage.

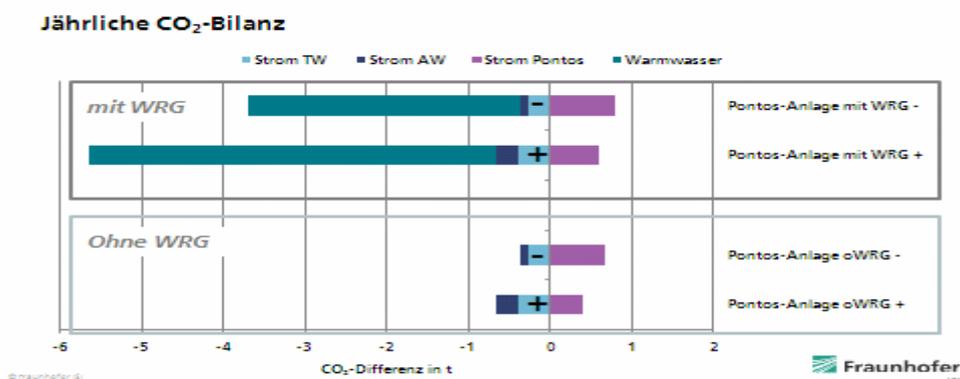


Abbildung 13: Jährliche CO₂-Bilanz

5.5 Analyse der Integration einer Wärmepumpe

In der Pilotanlage in Freiburg wurde die Integration einer Wärmepumpe getestet. Die Erfahrungen zeigen, dass durch die Integration einer Wärmepumpe die Wärmeübertragungseffizienz der Pontos-Anlage erhöht wird. Die Wärmeübertragungseffizienz beträgt ~20 kWh/m³ Grauwasser. Der zusätzliche Stromverbrauch für die Wärmepumpe beträgt 4 kWh/m³ Grauwasser. Pro Tag ergibt sich bei ausgelasteter Anlage ein Stromverbrauch von 20 kWh/d (80% für WP, 20% Betriebswasseraufbereitung) und eine gewonnene Wärmemenge von 80 kWh/d. Daraus ergibt sich eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 4 (Gesamtsystem inkl. Brauchwasseraufbereitung) bzw. JAZ 5 (nur Wärmepumpe). Diese Erfahrungswerte wurden für ein konservatives Wärmepumpen-Szenario zugrundegelegt (**WP-BAU**).

Weiterhin wurde ein optimistischeres Wärmepumpen-Szenario definiert (**WP-OP**) mit einer Wärmeübertragungseffizienz von 24 kWh/m³ Grauwasser und einem zusätzlichen Stromverbrauch von 3,5 kWh/m³ Grauwasser, pro Tag ergibt sich bei ausgelasteter Anlage ein Stromverbrauch von 17 kWh/d (80% für WP, 20% Betriebswasseraufbe-

reitung) und eine gewonnene Wärmemenge von 96 kWh/d. Daraus errechnet sich eine JAZ von 5,6 (Gesamtsystem inkl. Brauchwasseraufbereitung) bzw. JAZ 6,8 (nur Wärmepumpe).

In Abbildung 14 ist der jährliche ist der jährliche Rücklauf bei ausgelasteter Anlage mit WRG plus Wärmepumpe (WP-BAU oben und WP-OP unten) dargestellt, im Vergleich zu den konservativen und optimistischen Szenarien mit WRG ohne Wärmepumpe (BAU und OP). Zur Verdeutlichung ist in Abbildung 15 der jährliche Rücklauf der beiden Wärmepumpen-Szenarien dem des optimistischen Szenarios mit WRG ohne Wärmepumpe (OP) gegenübergestellt.

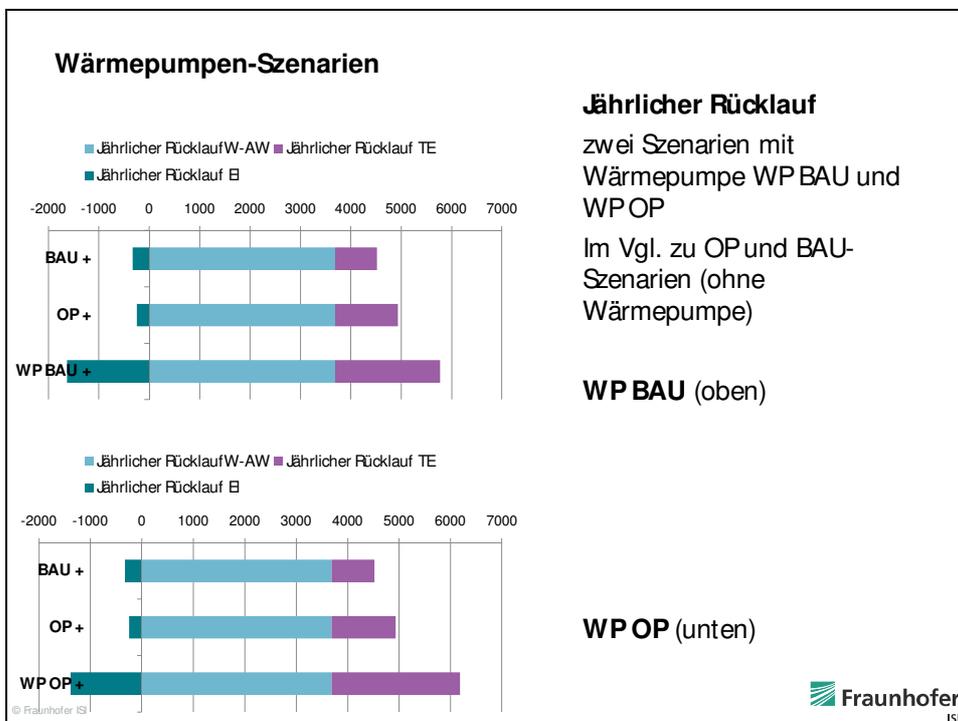


Abbildung 14: Jährlicher Rücklauf bei ausgelasteter Anlage, Vgl. Szenarien mit WRG plus Wärmepumpe (WP-BAU oben und WP-OP unten) mit Szenarien mit WRG ohne Wärmepumpe (BAU und OP) [bei günstigen ökonomischen Randbedingungen]

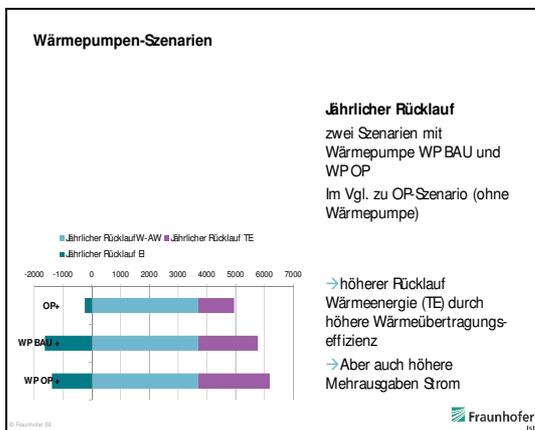


Abbildung 15: Jährlicher Rücklauf bei ausgelasteter Anlage, Vgl. Szenarien mit WRG plus Wärmepumpe (WP-BAU und WP-OP) mit optimistischem Szenario mit WRG ohne Wärmepumpe (OP) [bei günstigen ökonomischen Randbedingungen]

Der größte Posten des jährlichen Rücklaufs sind die Einsparungen bei Trinkwasser/Abwasser, die in allen Szenarien mit ausgelasteter Anlage konstant sind⁵, gefolgt von den Einsparungen durch Minderverbrauch von thermischer Energie zur Warmwasserbereitung. Die Einsparungen an thermischer Energie liegen bei der Anlage mit WRG in der Größenordnung von rund 1000 € +/- 20%. Im Vergleich sind die jährlichen Einsparungen an thermischer Energie in den Szenarien mit WRG plus Wärmepumpe doppelt so hoch⁶ (~2000 € im pessimistischen Technikszenario mit Wärmepumpe WP-BAU und ~2500 € im optimistischen Technikszenario mit Wärmepumpe WP-OP).

Die Mehrkosten durch den Stromverbrauch der Grauwasserrecycling-Anlage mit Wärmepumpe sind höher als ohne Wärmepumpe (1200 € - 1500 € mit WRG plus Wärmepumpe im Vergleich zu ~300 € mit WRG).

Die Investitionskosten⁷ für die Wärmepumpe betragen 4500 €. Die folgenden Abbildungen zeigen einen Vergleich der Nettobarwerte der Szenarien mit Wärmepumpe (WP-BAU in Abbildung 17 und WP-OP in Abbildung 16) im Vergleich zu den Szenarien mit WRG ohne Wärmepumpe (BAU und OP). Das konservative Szenario mit WRG

⁵ in Abhängigkeit von den ökonomischen Randbedingungen (Preis TW/AW)

⁶ aufgrund der Verdoppelung der Wärmeübertragungseffizienz

⁷ zugrundegelegter Listenpreis

plus Wärmepumpe (WP-BAU) ist ökonomisch deutlich weniger vorteilhaft als die Szenarien mit WRG ohne Wärmepumpe. Das optimistische Szenario mit WRG plus Wärmepumpe (WP-OP) dagegen weist nach 10 Jahren vergleichbare NBW auf wie das konservative Szenario mit WRG (BAU).

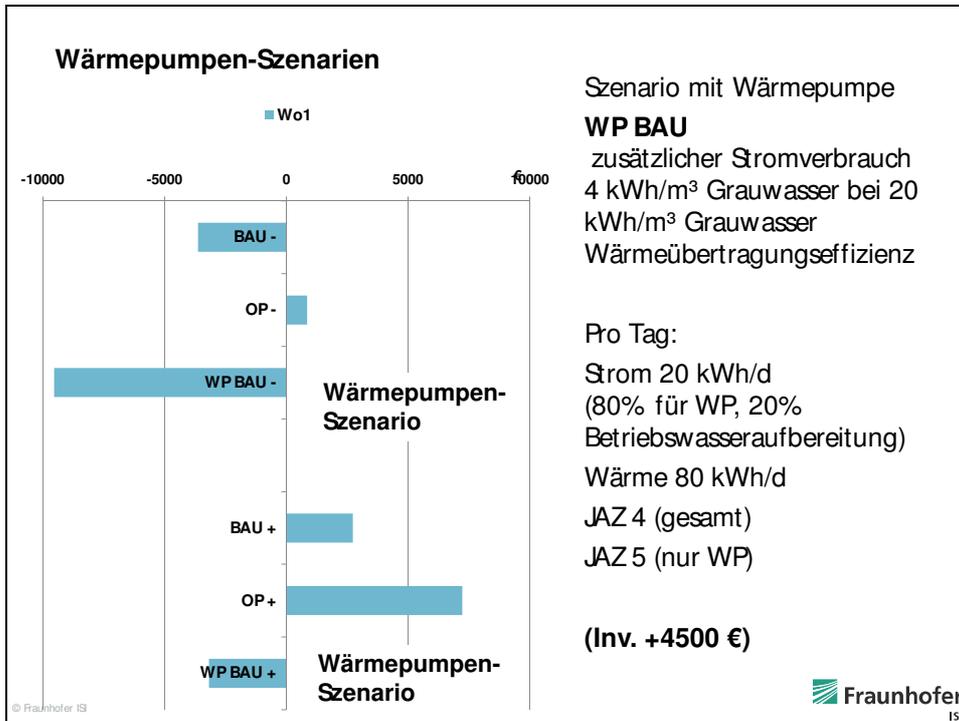


Abbildung 16: Nettobarwert nach 10 Jahren bei ungünstigen und günstigen ökonomischen Randbedingungen: Szenario mit Wärmepumpe (BAU) im Vergleich zu den Szenarien mit WRG ohne Wärmepumpe (BAU und OP); Investitionskosten Wärmepumpe 4500 €

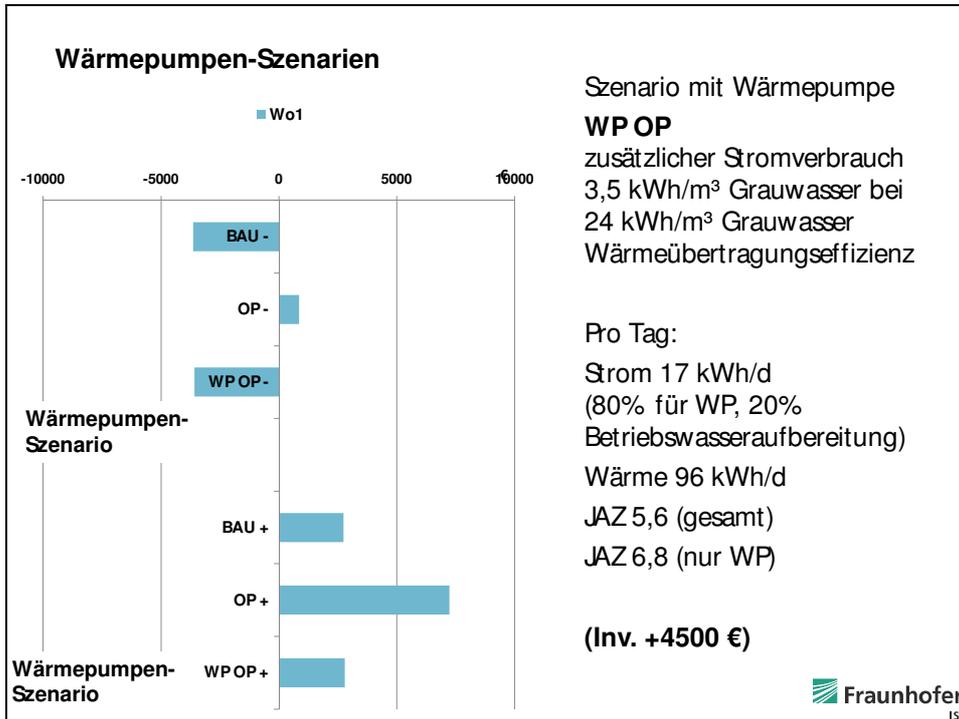


Abbildung 17: Nettobarwert nach 10 Jahren bei ungünstigen und günstigen ökonomischen Randbedingungen: Szenario mit Wärmepumpe (OP) im Vergleich zu den Szenarien mit WRG ohne Wärmepumpe (BAU und OP); Investitionskosten Wärmepumpe 4500 €

Werden reduzierte Investitionskosten von 3000 € zugrundegelegt, verbessert sich die ökonomische Bewertung der Integration einer Wärmepumpe, wie Abbildung 18 zeigt. Das optimistische Szenario mit WRG plus Wärmepumpe (WP-OP) weist nach 10 Jahren vergleichbare NBW auf wie das optimistische Szenario mit WRG (OP). Das konservative Szenario mit WRG plus Wärmepumpe (WP-BAU) weist nach 10 Jahren auch bei günstigen ökonomischen Randbedingungen einen NBW kleiner Null auf.

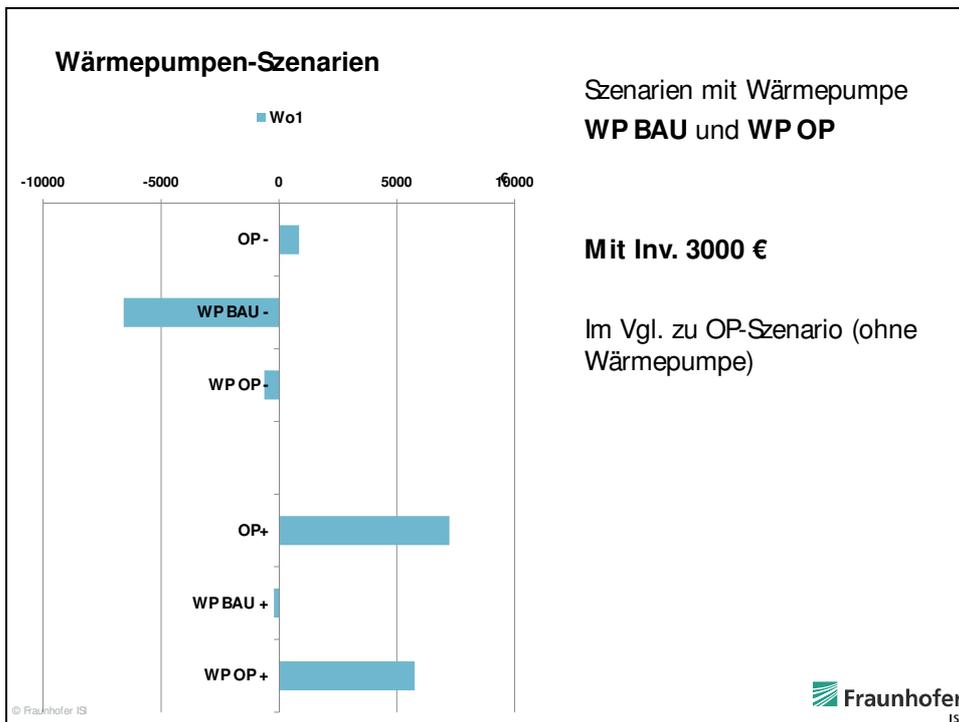
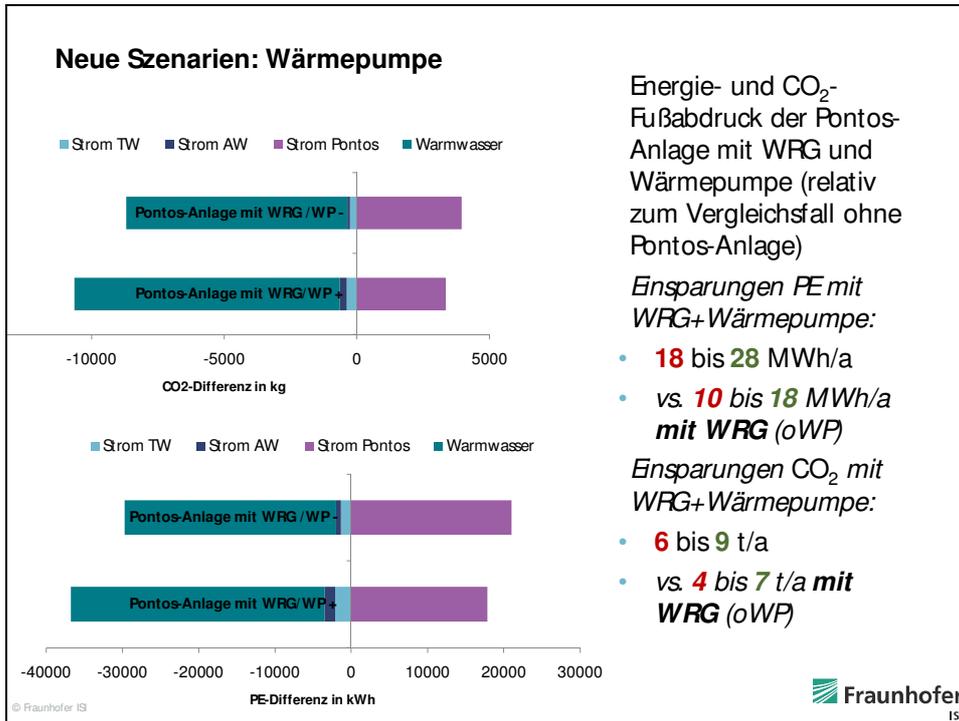


Abbildung 18: Nettobarwert nach 10 Jahren bei ungünstigen und günstigen ökonomischen Randbedingungen: Szenarien mit Wärmepumpe (WP-BAU und OP) im Vergleich zu dem optimistischen Szenario mit WRG ohne Wärmepumpe (OP); Investitionskosten Wärmepumpe 3000 €

In den folgenden Abbildungen ist die CO₂-Bilanz und die Primärenergie-Bilanz der Anlage mit WRG plus Wärmepumpe dargestellt⁸ (in Abbildung 19 aufgeschlüsselt, in Abbildung 20 als Summe). Die Einsparungen durch die Pontos-Anlage mit WRG plus Wärmepumpe gegenüber dem Vergleichsfall ohne Pontos-Anlage liegen bei 18 bis 28 MWh/a Primärenergie bzw. 6 bis 9 t/a CO₂-Emissionen. Die Einsparungen liegen damit in derselben Größenordnung wie bei der Anlage mit WRG ohne Wärmepumpe⁹.

⁸ als Differenz zum Vergleichsfall ohne Pontos-Anlage

⁹ Anlage mit WRG: 10 bis 18 MWh/a Primärenergie bzw. 4 bis 7 t/a CO₂-Emissionen, durch WP Mehreinsparungen von >50%



Energie- und CO₂-Fußabdruck der Pontos-Anlage mit WRG und Wärmepumpe (relativ zum Vergleichsfall ohne Pontos-Anlage)

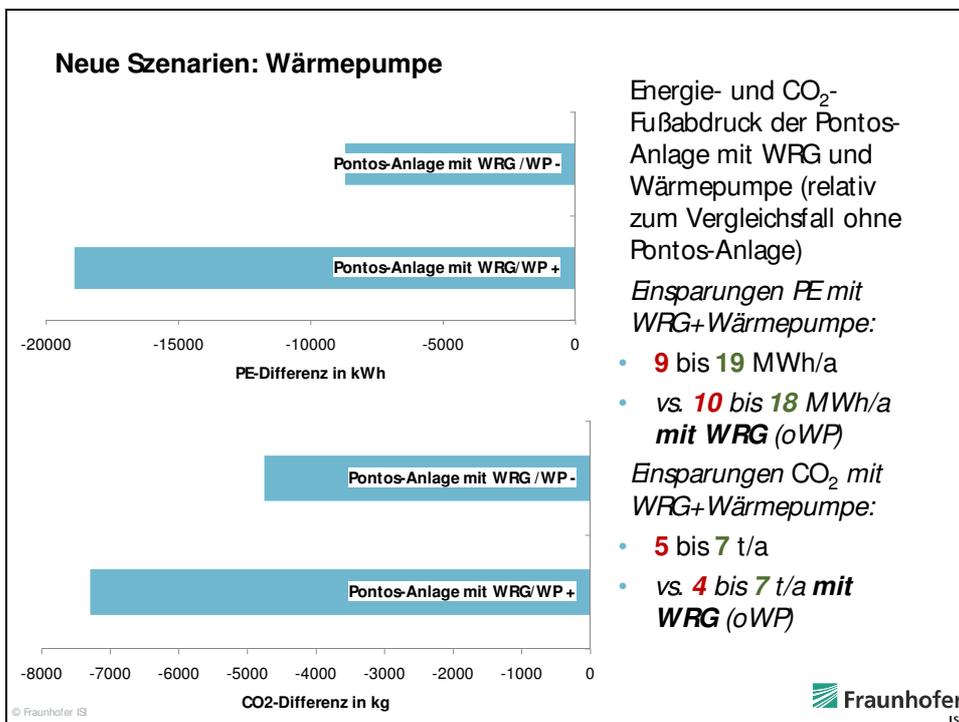
Einsparungen PE mit WRG+Wärmepumpe:

- 18 bis 28 MWh/a
- vs. 10 bis 18 MWh/a mit WRG (oWP)

Einsparungen CO₂ mit WRG+Wärmepumpe:

- 6 bis 9 t/a
- vs. 4 bis 7 t/a mit WRG (oWP)

Abbildung 19: Aufgeschlüsselte CO₂-Bilanz und Primärenergie-Bilanz der Anlage mit WRG plus Wärmepumpe als Differenz zum Vergleichsfall ohne Pontos-Anlage



Energie- und CO₂-Fußabdruck der Pontos-Anlage mit WRG und Wärmepumpe (relativ zum Vergleichsfall ohne Pontos-Anlage)

Einsparungen PE mit WRG+Wärmepumpe:

- 9 bis 19 MWh/a
- vs. 10 bis 18 MWh/a mit WRG (oWP)

Einsparungen CO₂ mit WRG+Wärmepumpe:

- 5 bis 7 t/a
- vs. 4 bis 7 t/a mit WRG (oWP)

Abbildung 20: CO₂-Bilanz und Primärenergie-Bilanz der Anlage mit WRG plus Wärmepumpe als Differenz zum Vergleichsfall ohne Pontos-Anlage (Summe)

In Abbildung 21 sind die Primärenergieeinsparungen (bei günstigen und ungünstigen ökologischen Randbedingungen) der Pontos-Anlage mit WRG plus Wärmepumpe (1), Pontos-Anlage mit WRG ohne Wärmepumpe (2) und der Pontos-Anlage ohne WRG (3) als Differenz zum Vergleichsfall ohne Pontos-Anlage dargestellt. Es zeigt sich kein deutlicher energetischer Vorteil durch die Integration einer Wärmepumpe (im optimistischen Szenario gibt es Mehreinsparungen von ~2MWh oder ~10% der gesamten PE-Einsparungen im Vergleich zur Pontos-Anlage mit WRG ohne Wärmepumpe).

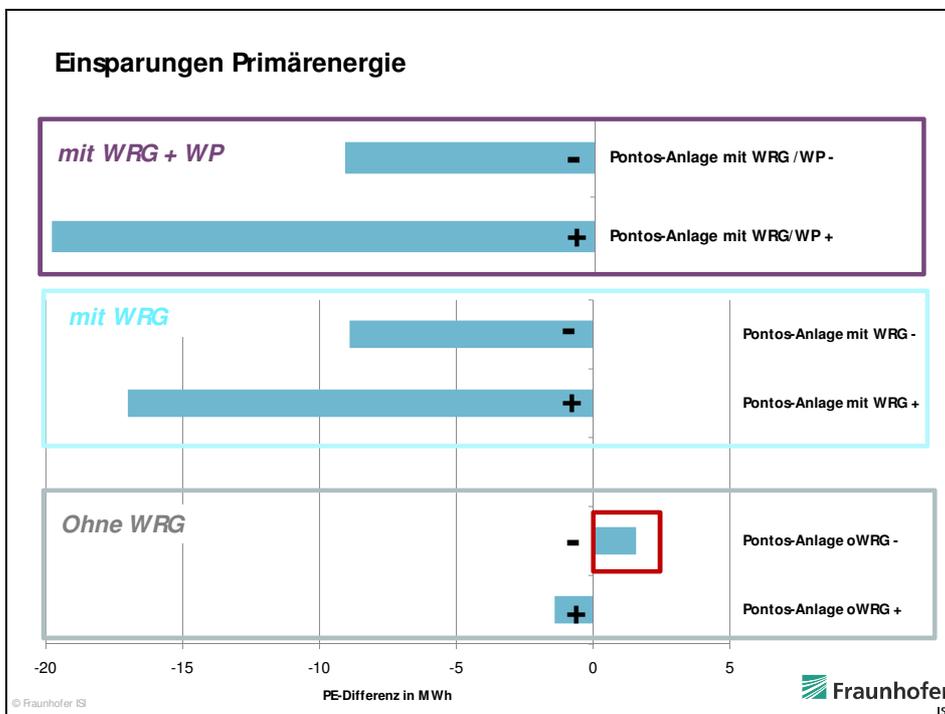


Abbildung 21: Primärenergie-Bilanz der Pontos-Anlage mit WRG plus Wärmepumpe (1), Pontos-Anlage mit WRG ohne Wärmepumpe (2) und der Pontos-Anlage ohne WRG (3) als Differenz zum Vergleichsfall ohne Pontos-Anlage (bei günstigen (+) und ungünstigen (-) ökologischen Randbedingungen)

Das konservative Szenario mit WRG plus Wärmepumpe (WP-BAU) hat ökologisch und ökonomisch keine Vorteile gegenüber dem konservativen Szenario mit WRG ohne Wärmepumpe (BAU). Das optimistische Szenario mit WRG plus Wärmepumpe (WP-OP) weist bei reduzierten Investitionskosten nach 10 Jahren vergleichbare NBW auf wie das optimistische Szenario mit WRG (OP), sowie leichte Mehreinsparungen an

Primärenergie und CO₂-Emissionen. Es ist somit anhand der untersuchten Parameter (Nettobarwert, Primärenergie- und CO₂-Bilanz) als ökonomisch und ökologisch (leicht) vorteilhaft zu bewerten. Aspekte, die in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt wurden, sind:

- **Verbilligter Strom:** Für Wärmepumpen wird teilw. ein verbilligter Tarif angeboten (Abschaltung bei Spitzenlasten zur Lastverschiebung, finanzieller Anreiz für Kunden)
- **Strom vs. Wärme:** Wärmepumpen benötigen elektrischen Strom zum Betrieb und stellen Wärme bereit. Aufgrund der Verluste von rund 2/3 bei der Stromerzeugung ohne Kraft-Wärme-Kopplung sind Wärmepumpen mit JAZ < 3¹⁰ energetisch unvorteilhaft im Vergleich zur direkten thermischen Nutzung des Primärenergieträgers. Die ökologischen Vor- und Nachteile eines großflächigen Einsatzes von Wärmepumpen, im Vergleich zu anderen Technologien zur Bereitstellung von Wärme aus erneuerbaren Energien, werden deshalb intensiv diskutiert.

¹⁰ Im vorliegenden Fall wird allerdings eine deutlich höhere JAZ erreicht

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Konzept Grauwasserrecycling mit integrierter Wärmerückgewinnung hat sich in der Praxis bewährt. Die Pilotanlage arbeitet seit 2 Jahren ohne Probleme in einem Studentenwohnheim im Freiburg mit 65 Bewohnern. Eine Minderung der Wärmeübertragungseffizienz durch Bewuchs (Fouling) der Wärmetauscher, wie es von Anwendungen im Abwasserkanal (Mischabwasser) bekannt ist, tritt aufgrund der technischen Konfiguration (Wirbelbett) der Grauwasserrecycling-Anlage nicht auf. Der Biologische Sauerstoffbedarf (BSB7) liegt unter 5 mg O₂ /L. Der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) bewegt sich zwischen 6-20 mg O₂ /L. Die Qualität des Betriebswassers ist gut, und erfüllt die hygienischen Anforderungen der EU-Badegewässerrichtlinie.

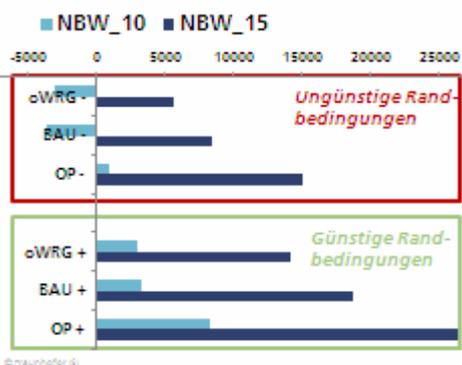
Der Bedarf an elektrischer Energie liegt durchschnittlich bei 1,2 kWh pro m³ Betriebswasser (inkl. Druckerhöhung) und 0,3 kWh pro m³ Grauwasser für die Wärmerückgewinnung. Im Jahresmittel erreicht die Wärmeübertragungseffizienz rund 8 kWh pro m³ Grauwasser, trotz ungünstiger Randbedingungen am Standort (relativ hohe Trinkwasserzulauftemperaturen). Die Wärmeübertragungseffizienz ist höher zu Zeiten höheren Wärmebedarfs (Winter).

Die Primärenergiebilanzen, basierend auf den in der Pilotanlage ermittelten Werten, zeigen den deutlichen energetischen Vorteil der Wärmerückgewinnung. Die große Wärmemenge auf niedrigem Temperaturniveau ist gut geeignet für eine Vorerwärmung des zulaufenden Trinkwassers (Heizungsunterstützung für Warmwasserbereitung). Bezogen auf eine moderne, effiziente Gasheizung mit niedrigen Emissionswerten, werden so auch jährlich 3-5 t CO₂-Emissionen eingespart. In diesem Sinne substituiert 1 m³ Grauwasser, das in der Grauwasserrecycling-Anlage mit Wärmerückgewinnung aufbereitet wird, rund 1 m³ Erdgas und 1 m³ Trinkwasser aus dem Versorgungsnetz und vermeidet 1 m³ Abwasser. Durch den Einsatz der Grauwasserrecycling-Anlage mit Wärmerückgewinnung werden Wasser- und Energieressourcen geschont.

In Abbildung 22 ist die Wasser-, Primärenergie- und CO₂-Bilanz der Grauwasserrecycling-Anlage mit WRG über die technische Lebensdauer der Anlage (15 Jahre) zusammengefasst. Es ergeben sich deutliche Einsparungen, sowohl bei günstigen, wie auch bei ungünstigen Randbedingungen.

Auch die Wirtschaftlichkeit der Grauwasserrecycling-Anlage mit Wärmerückgewinnung ist als gut zu bewerten. Die Amortisationszeit liegt bei rund 10 Jahren. Über die technische Lebensdauer der Anlage (15 Jahre) ergeben sich in Abhängigkeit von den Randbedingungen deutliche wirtschaftliche Vorteile.

Grauwasserrecycling-Anlage mit Wärmerückgewinnung
Ökonomische und Ökologische Bewertung



Jährliche ökologische Einsparungen

- ~800 m³/a Trinkwasser
- 10 MWh/a bis 18 MWh/a Primärenergie
- 3 t/a bis 5 t/a CO₂

Einsparungen auf 15 Jahre

- ~12 000 m³/a Trinkwasser
- 150 MWh bis 270 MWh Primärenergie
- 50 t bis 75 t CO₂

Abbildung 22: Nettobarwerte nach 10 und 15 Jahren, sowie Wasser-, Primärenergie- und CO₂-Bilanz der Grauwasserrecycling-Anlage mit WRG über die technische Lebensdauer der Anlage (15 Jahre)

7 Fazit und Ausblick

Wie die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, hat die Kombination von Grauwasserrecycling und Wärmerückgewinnung großes Potenzial als wirtschaftliche Möglichkeit, in Gebäuden mit hohem Grauwasseranfall gleichzeitig Wasser und Energie wiederzuverwenden. Ein großer Vorteil der Anlage liegt in dem niedrigen Stromverbrauch, und den damit verbundenen niedrigen Betriebskosten. Die CO₂-Bilanz der Grauwasseraufbereitungsanlage mit integrierter Wärmerückgewinnung zeigt deutliche Einsparungen.

Nachhaltige Lösungen für Wasser und Energie sind essentielle Bausteine für nachhaltige Gebäude. Deshalb sollte der Einsatz einer Grauwasserrecycling-Anlage mit Wärmerückgewinnung bei Sanierung und Neubau geeigneter Objekte als Option berücksichtigt werden.

Eine Einordnung¹¹ des Energieverbrauchs für Warmwasserbereitung und Heizung in Gebäuden in den Gesamt-Energieverbrauch Deutschlands zeigt die große Relevanz dieses Postens. 42% des Endenergiebedarfs in Deutschland entfällt auf Gebäude (GHD und Haushalte), der Rest verteilt sich auf Industrie und Verkehr. Der Endenergiebedarf der Gebäude entfällt wiederum zu 70% auf Warmwasserbereitung und Heizung (Warmwasserbereitung 11% und Heizung 59%). Insgesamt verursachen Warmwasserbereitung und Heizung in Gebäuden somit ~30% des Endenergiebedarfs in Deutschland.

Gleichzeitig gibt es bei der Wärmebereitstellung ein erhebliches Potenzial zur Energieeffizienz bzw. CO₂-Effizienz, und es stehen marktreife Technologien zur Verfügung, dieses Potential auszuschöpfen. Darin begründet sich die hohe Relevanz und Aktualität¹² des Themas „Erneuerbare Energien zur Wärmebereitstellung im Gebäudesektor“.

Insgesamt liegt der Anteil erneuerbarer Energien (EE) zur Wärmebereitstellung bei ~2,5 % (Stand 2008) ¹³. Den Hauptanteil stellt Wärmeenergie aus Biomasse (>90 %).

¹¹ Daten aus Tzscheuschler et al. 2009 in BWK 61-6 (2009), online verfügbar unter <http://www.ag-energiebilanzen.de/component/download.php?filedata=1248783995.pdf&filename=BWK%206-09%20Nutzenergiebilanz.pdf&mimetype=application/pdf>

¹² Gesetzliche Regelung in Baden Württemberg 10 %+ Erneuerbare Energien zur Wärmebereitstellung. Förderung ab 11 % (Referenz)
www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eew_rmeg/gesamt.pdf

¹³ Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2008, Stand April 2009, <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=18604>
<http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=18603>

Kleine Anteile kommen von Solarthermie und Geothermie (je 2-3 %). In den nächsten Jahren ist mit einem erheblichen Wachstum zu rechnen, nicht zuletzt aufgrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen. Beispielsweise muss in Baden-Württemberg der Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmebereitstellung für Neubauten 20 % und bei der Erneuerung der Heizungsanlage im Gebäudebestand 10 % betragen¹⁴. Es stellt sich die Frage, welche der verschiedenen Technologien zur Warmwasserbereitung und Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien zur Erreichung dieses Ziels beitragen können. Eine wesentliche Rolle für die ökologische Vorteilhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit spielen dabei die jeweiligen lokalen Randbedingungen.

Für die Pontos-Technologie ergibt sich daraus die Fragestellung, was die Vor- und Nachteile im Vergleich zu anderen Technologien zur Warmwasserbereitung und Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien sind (technisch, ökonomisch, ökologisch), und unter welchen Randbedingungen eine Integration möglich und vorteilhaft ist. Dazu gehört auch ein Vergleich der Gestehungskosten für Wärme. Interessant sind dabei besonders die Solarthermie und die Wärmepumpentechnologie. Eine Möglichkeit liegt in einer gemeinsamen Markteinführungsstrategien mit Zielgruppe „Großobjekte mit hohem Wasserverbrauch und Wärmebedarf“. F&E-Querschnittsfragen für verschiedene Technologien zur Warmwasserbereitung und Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien liegen in den Bereichen Wärmespeicher, Niedertemperaturnutzung und Einbindung in kommunale Wärmenetze. Auch im F&E-Bereich liegen somit mögliche Synergien.

¹⁴ Umweltministerium Baden-Württemberg <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/60561/Erneuerbare-Waerme-Verordnung.pdf?command=downloadContent&filename=Erneuerbare-Waerme-Verordnung.pdf>

8 Literatur

- [1] HILLENBRAND, T. (2009): Analyse und Bewertung neuer urbaner Wasserinfrastruktursysteme, Schriftenreihe SWW – Band 134 – Karlsruhe 2009, Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe
- [2] MENGER-KRUG, E. (2010) in Wietschel et al. 2010: Energietechnologien 2050, Projektbericht für das BMWi (<http://www.energietechnologien2050.de/>)
- [3] GROPP, M: (2009), Grauwasserrecycling in Kombination mit Wärmerückgewinnung, Diplomarbeit HS-Furtwangen bei Pontos GmbH
- [4] DIN EN 1717 (2001) Schutz des Trinkwassers vor Verunreinigung, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Mai 2001.
- [5] HABERKERN/MAIER/SCHNEIDER 2008: Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, Texte, Dessau: Umweltbundesamt.
- [6] UBA 2010: Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente (ProBas), Bibliothek für Lebenszyklusdaten, <http://www.probas.umweltbundesamt.de/>
- [7] BMWi (2010): Energiepreisstatistiken, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Binaer/Energiedaten/energiepreise-und-energiekosten1-entwicklung-energiepreise-preisindizes,property=blob,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.xls>
- [8] LAMP/GRUNDMANN (2009) Neue Entgeltstatistik in der Wasser- und Abwasserwirtschaft Statistisches Bundesamt • Wirtschaft und Statistik 6/2009 <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Querschnittsveroeffentlichungen/WirtschaftStatistik/Umwelt/EntgeltWasser,property=file.pdf>
- [9] STAT. BUNDESAMT (Hrsg.) (2006): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung. Wiesbaden
- [10] AEE (2010): Agentur für Erneuerbare Energien e. V.: Dokumentation zum Heizkostenvergleich, http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/Dokumentation_zum_Heizkostenvergleich_01.pdf