

Kombination Solarthermie / Wärmepumpe inkl. Abwasser-Wärmerückgewinnung (AWR)

W. Lerch ^(a), A. Heinz ^(a), C. Fink ^(b), J. Breidler ^(b), W. Wagner ^(b)

^(a) Institut für Wärmetechnik, TU Graz, Inffeldgasse 25b, 8010 Graz, Austria

^(b) AEE INTEC, Institut für Nachhaltige Technologien, Feldgasse 19, 8200 Gleisdorf, Austria

1 Einleitung

In Niedrigenergiehäusern ist der Anteil des Wärmebedarfs für das Warmwasser am Gesamtwärmebedarf relativ hoch und kann bei Passivhäusern sogar größer sein als der Heizwärmebedarf. Zusätzlich sind für das Erreichen des Warmwasserkomforts höhere Temperaturen erforderlich als dies für den Vorlauf z. B. bei einer Fußbodenheizung nötig ist. Dadurch steigt die Relevanz des Energiebedarfs für Warmwasser mit zunehmendem Dämmstandard der Gebäude. Aus diesen Gründen wird auch die Nutzung der im Abwasser vorhandenen Wärme über eine Abwasser-Wärmerückgewinnungsanlage mit sinkendem Heizwärmebedarf interessant.

Das Projekt „Wärmerückgewinnung aus Abwasser im Niedrigenergie- und Passivhaus: Potenzial und Konzepte in Kombination mit Solarthermie und Wärmepumpe“ wird durch das Forschungsprogramm „Haus der Zukunft Plus“ finanziert. In diesem Projekt werden die Möglichkeiten von Einsparungen durch intelligente Warmwasserbereitstellung und -verteilung und das Potenzial einer Abwasser-Wärmerückgewinnung, insbesondere in Kombination mit einer Solaranlage und einer Wärmepumpe, untersucht (Heinz et al., 2011).

2 Feldmessungen

Um eine zuverlässige Basis für die Ermittlung des im Abwasser vorhandenen Wärmepotenzials zu erhalten, werden von der AEE INTEC Messungen in einem Ein- und einem Mehrfamilienhaus durchgeführt. Ziel der Messungen ist die Ermittlung von detaillierten zeitlichen Profilen der Wasser-Zapfungen und des über die Abflussleitung abfließenden Abwassers (jeweils Durchfluss und Temperatur). Diese Daten werden in weiterer Folge zur Bewertung von Systemkonzepten mittels Simulationen am Institut für Wärmetechnik verwendet.

Als Messobjekte wurden ein Einfamilienhaus (4 Personen, Niedrigenergiehaus-Standard) mit einer Grauwassernutzungsanlage sowie ein Mehrfamilienhaus (sechs Wohneinheiten, Passivhausstandard) mit konventionellem Abwassersystem, d.h. gemeinsamer Führung von Grau- und Schwarzwasser, ausgewählt.

2.1 Energiebilanzierung

Für das Einfamilienhaus kann über die Messdaten eine genaue Input/Output-Bilanz erstellt werden. Dabei wird die Energie, welche über Kalt-, und Warmwasser dem Gebäude zugeführt wird (Input), der Energie, welche im vom Gebäude abgeleiteten Abwasser enthalten ist (Output), gegenübergestellt. Die Positionierung der Messpunkte in diesem Objekt erlaubt zusätzlich eine Bilanzierung der einzelnen Verbraucher im Gebäude. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, auch Objekte mit anderen Verbraucherkombinationen zu modellieren. Mit den entscheidenden Parametern in der Abwasser-Wärmerückgewinnung (Temperatur und Durchfluss) wurden Häufigkeitsverteilungen für die Abwässer von Küche und Badezimmer erstellt.

2.2 Messergebnisse Badezimmer

Abbildung 1 zeigt die Häufigkeitsverteilung für die Messwerte von September bis November 2010 aus dem Badezimmer des Einfamilienhauses. Darin ist ersichtlich, dass in diesem Zeitraum ca. 24 % der 4.760 Zapfungen im Badezimmer mit einer Temperatur zwischen 34 °C und 36 °C durch den Abfluss fließen (Temperaturmessstelle an der Abflussleitung im Keller). Gleichzeitig ist ersichtlich, dass der durchschnittliche Durchfluss für diesen Temperaturbereich 4,7 ltr/min beträgt. Aus der Häufigkeitsverteilung für das Badezimmer geht hervor, dass ein enger Zusammenhang zwischen häufigen Zapfungen mit relativ hohen Temperaturen und gleichzeitig großen Wassermengen besteht.

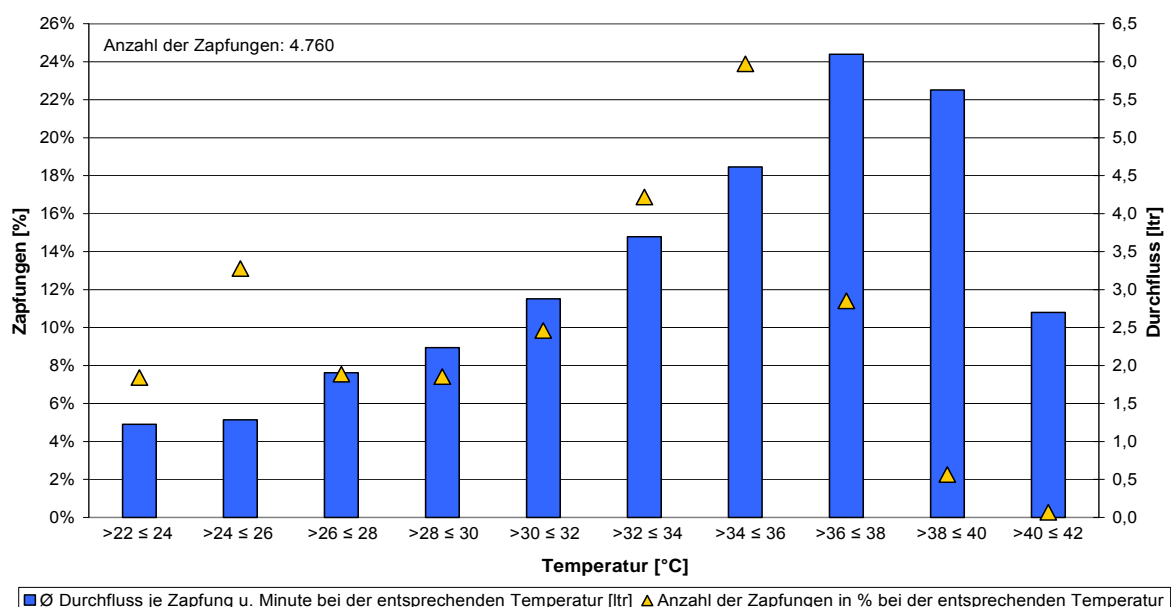


Abbildung 1: Häufigkeitsverteilung „Badezimmer“ - Anzahl der Zapfungen für klassifizierte Temperaturbereiche sowie der durchschnittliche Durchfluss pro Minute und Zapfung für den entsprechenden Temperaturbereich (Zeitraum: September bis November 2010)

2.3 Vergleich der Energiebilanzen – Bad / Küche

In Abbildung 2 ist die gemessene Energiebilanz der Messperiode 20.05.2010 bis 28.11.2010 von Küche und Badezimmer gegenübergestellt. Dabei wurde von einer Referenztemperatur von 10 °C ausgegangen. Dies ist jene angenommene Temperatur, auf die ein im Falle einer Abwasser-Wärmerückgewinnung eingebauter Wärmetauscher das Abwasser abkühlt, bevor es in den öffentlichen Kanal eingeleitet

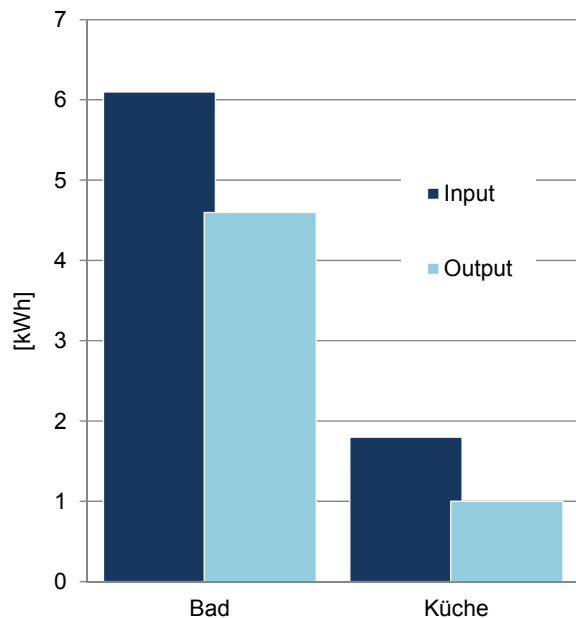


Abbildung 2: Durchschnittliche Tages-Input-/Output-Bilanz von Badezimmer und Küche (Messperiode vom 20.05.2010 bis 28.11.2010)

wird. Betrachtet man die Absolutwerte der Tagesdurchschnitte an Kilowattstunden der Küche und des Badezimmers, lässt sich klar erkennen, dass das Potenzial zur Abwasser-Wärmerückgewinnung im Badezimmer jenes in der Küche deutlich übersteigt. Das bedeutet, dass bei diesem Gebäude das Potenzial für die AWR aus dem Badezimmer quantitativ höher ist als jenes aus der Küche. Ein weiterer Vorteil des Badezimmerabwassers (Grauwasser) ist, dass dieses kaum Feststoffe enthält und somit das Anlagen- und Wärmetauscherkonzept einfacher gestaltet werden kann als wenn auch Wärme aus Schwarzwasser genutzt werden soll.

3 Systemkonzepte für die Wärmebereitstellung inkl. Abwasser-Wärmerückgewinnung

Zu Beginn des Projektes wurde eine Literaturstudie über Abwasser-Wärmerückgewinnungskonzepte und am Markt erhältliche Abwasser-Wärmetauscher durchgeführt. Aufbauend auf den in den Recherchen gesammelten Informationen wurden sechs Konzeptideen für die Wärmebereitstellung für Warmwasser und Heizung mit AWR entwickelt. In allen Systemkonzepten werden eine thermische Solaranlage und eine Wärmepumpe eingesetzt. Für die Wärmepumpe werden unterschiedliche Wärmequellen benutzt (Erdreich, Luft, Eisspeicher, Pufferspeicher), und auch für die Abwasser-Wärmerückgewinnung werden verschiedene Systeme betrachtet (Wärmetauscher im Durchlauf- oder Speicherprinzip).

Im Projekt werden diese Konzepte anhand eines einfachen Bewertungstools hinsichtlich ihrer Effizienz und der Kosten bewertet (siehe Abschnitt 4 und 5). Aufgrund dieser Ergebnisse werden die beiden erfolgversprechendsten Konzepte ausgewählt, für die dann detaillierte Anlagensimulationen in TRNSYS (SEL; 2005) durchgeführt werden.

4 Bewertungstool

Zur Bewertung des energetischen Potentials der einzelnen Konzepte wurde am Institut für Wärmetechnik ein einfaches Simulationstool erstellt. Dieses basiert auf Stundenzeitschritten, wobei in jedem Zeitschritt die Energiebilanzen für die einzelnen Komponenten des jeweiligen Systemkonzepts (Wärmepumpe, Kollektor, Speicher, etc.) berechnet werden. Für die Raumheizung und den Warmwasserbedarf wurde jeweils ein Lastprofil auf Stundenbasis generiert. Als Gebäude wurde im ersten Schritt ein Niedrigenergie-Haus mit einem Fußbodenheizungssystem und einem Heizwärmebedarf von $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ angenommen. Die Modellierung des Solarkollektors erfolgt über eine Kollektorkennlinie mit den Kenndaten eines durchschnittlichen Flachkollektors. Die Global- und Diffusstrahlung auf die Kollektorebene (Ausrichtung Süd, 45° Neigung) wurde vorab in TRNSYS ermittelt. Der Pufferspeicher wird durch ein Finite Differenzen Modell mit fünf Knoten abgebildet. Dieses bietet die Möglichkeit von vier direkten Anschlusspaaren (double ports) zur Energiezu- und -abfuhr. Die Berücksichtigung von evtl. im System vorhandenen Wärmetauschern erfolgt als Vereinfachung durch die Annahme einer fixen Grädigkeit zwischen kalter und warmer Seite. Die Berechnung der Leistungszahl der Wärmepumpe erfolgt über den Carnot-Wirkungsgrad bei der jeweils vorhandenen Quellen- und Senktemperatur und einen angenommenen Gütegrad. Die Wärmeverluste der Rohrleitungen und Wärmetauscher werden nicht berücksichtigt. Die Verluste des Pufferspeichers werden temperaturabhängig berechnet.

Die Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser wird stark vereinfacht über einen angenommenen Rückgewinnungsgrad (in jedem Zeitschritt über die aktuell vorhandene Abwassertemperatur und die Temperatur der jeweiligen Wärmesenke) berechnet.

Trotz der vielen Vereinfachungen ermöglicht dieses Tool eine seriöse Abschätzung des energetischen Potenzials und eine schnelle Bewertung der einzelnen Konzepte.

4.1 Input Parameter

Folgende Parameter können im Bewertungstool vorgegeben werden:

- Klimadaten
- Kollektor (Kennlinie, Kollektorfläche)

- Pufferspeicher (Größe, Dämmstärke, Anschlusspositionen)
- Grädigkeiten (Wärmetauscher)
- Temperaturen (Heizungsvor- und -rücklauf), Warmwasser)
- Gütegrad Wärmepumpe
- Heizwärmebedarf (Heizleistung als Funktion der Außenlufttemperatur, siehe Abbildung 3)
- Profil für Warmwasserbedarf und anfallendes Abwasser
- Kosten für Anlagenkomponenten

4.1.1 Warmwasserbedarf

Da Messdaten über den Warmwasserverbrauch eines Einfamilienhauses aus den im Projekt durchgeführten Messungen verfügbar sind, wurde aus diesen ein Zapfprofil (für den Zeitraum von zwei Wochen) generiert. Dieses ist im Tool hinterlegt und wird zyklisch wiederholt. Der Warmwasserverbrauch entspricht 47 Liter pro Person und Tag bei einer Wassertemperatur von 45°C.

4.1.2 Abwassermengen und -temperaturen

Aus den Messergebnissen des Einfamilienhauses wurden Profile für den Abwasserdurchfluss und die zugehörige Abwassertemperatur erstellt. Mit diesen Werten wurden - wie beim Warmwasser-Zapfprofil - Stundenwerte (für einen Zeitraum von zwei Wochen) generiert, im Tool hinterlegt und zyklisch wiederholt.

4.1.3 Heizwärmebedarf

Die dem Gebäude zuzuführende Heizleistung ist als lineare, von der Außenlufttemperatur abhängige Funktion hinterlegt (siehe Abbildung 3).

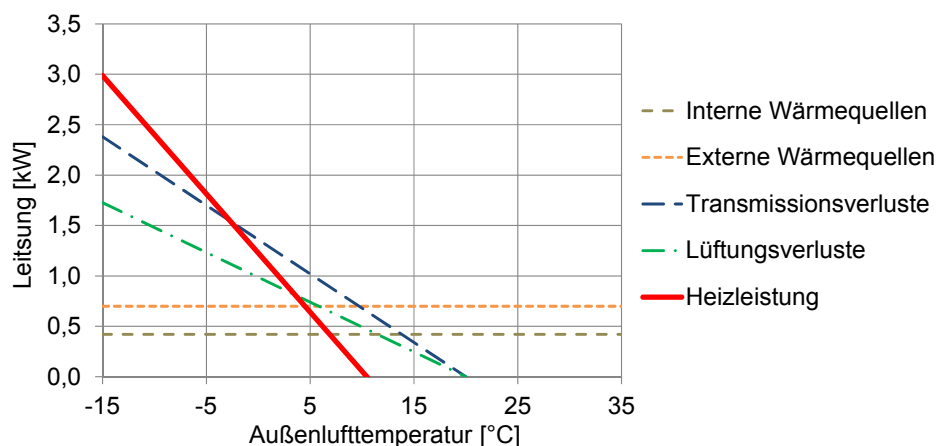


Abbildung 3: Wärmeverluste und -gewinne in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur für das Gebäude mit einem Heizwärmebedarf von 30 kWh/(m²a)

Zur Ermittlung der Funktion wurden von der Außenlufttemperatur unabhängige interne und externe Wärmequellen definiert. Aus der Luftwechselrate und einem definierten Raumluftvolumen wurden die Lüftungsverluste bestimmt. Für die Erstellung von drei Referenzfällen hinsichtlich des Dämmstandards wurden die Transmissionsverluste so gewählt, dass der Heizwärmebedarf des Gebäudes 15, 30 und 45 kWh/(m²a) beträgt.

4.1.4 Wärmebereitstellungskosten

Um die Wärmebereitstellungssysteme inkl. Abwasser-Wärmerückgewinnung nicht nur durch energetische Kennzahlen sondern auch ökonomisch bewerten zu können, sind Kostenfunktionen (spez. Kosten, größenabhängig) für Anlagenkomponenten hinterlegt. Diese wurden aus Recherchen, vorhandenen Daten und Angeboten generiert. Unter Einbeziehung des Energieverbrauchs der einzelnen Konzepte, welcher mit dem Bewertungstool errechnet wird, wird ein statisch berechneter Wärmepreis für die einzelnen Konzepte ermittelt.

4.2 Berechnungsergebnisse

Folgende Kennzahlen und Bilanzen können mit dem Bewertungstool berechnet werden:

- SPF System (Seasonal Performance Factor = Jahresarbeitszahl)

$$SPF_{System} = \frac{Q_{Nutz}}{W_{el}} \quad (4.1)$$

$$Q_{Nutz} = Q_{DHW} + Q_H \quad (4.2)$$

$$W_{el} = W_{el_direkt} + W_{el_WP} \quad (4.3)$$

- SPF Wärmepumpe

- Solarer Deckungsgrad $SD_1 = \frac{Q_{Koll}}{Q_{Nutz}} \quad (4.4)$

$$SD_2 = 1 - \frac{Q_{Aux}}{Q_{Nutz}} \quad (4.5)$$

- Jahresbilanz (Input/Output)
- Monatsbilanzen (Input/Output)
- Wärmepreis

$Q_{DHW...}$	Warmwasserbedarf
$Q_H...$	Heizwärmebedarf
$W_{el_direkt...}$	Zugeführte Energie zur direktelektrischen Nachheizung
$W_{el_WP...}$	Der Wärmepumpe zugeführte elektrische Energie (Kompressor)
$Q_{Koll...}$	Kollektorertrag der thermischen Solaranlage(Pufferspeicher / Eisspeicher)
$Q_{Aux...}$	Dem System zusätzlich zur Sonnenenergie zugeführte Energie (incl. Abwasserwärme) → für die Berechnung von SD_2

5 Konzept E

Im Folgenden werden exemplarisch Ergebnisse für eines der untersuchten Konzepte vorgestellt. Dieses System kommt ohne eine zusätzliche Wärmequelle für die Wärmepumpe wie z.B. einen Erdreichkollektor oder Außenluft aus, und ermöglicht trotzdem (je nach Anlagenkonfiguration) eine relativ hohe System-Jahresarbeitszahl nach Gl. 4.1.

In diesem System ist ein Eisspeicher als Wärmequelle für die Wärmepumpe installiert, welcher sowohl durch die Abwasser-Wärmerückgewinnung als auch durch die Solaranlage beladen wird (siehe Abbildung 4). Der Pufferspeicher enthält ein Frischwassermodul für die Warmwasserbereitung. Als Wärmeabgabesystem dient ein Niedertemperatur-Fußbodenheizungssystem, das die Energie direkt aus dem Pufferspeicher oder von der Wärmepumpe bezieht. Falls das Temperaturniveau im Eisspeicher unter -5 °C absinkt, wird angenommen, dass die Wärmebereitstellung direkt elektrisch erfolgt (Heizstab im Pufferspeicher).

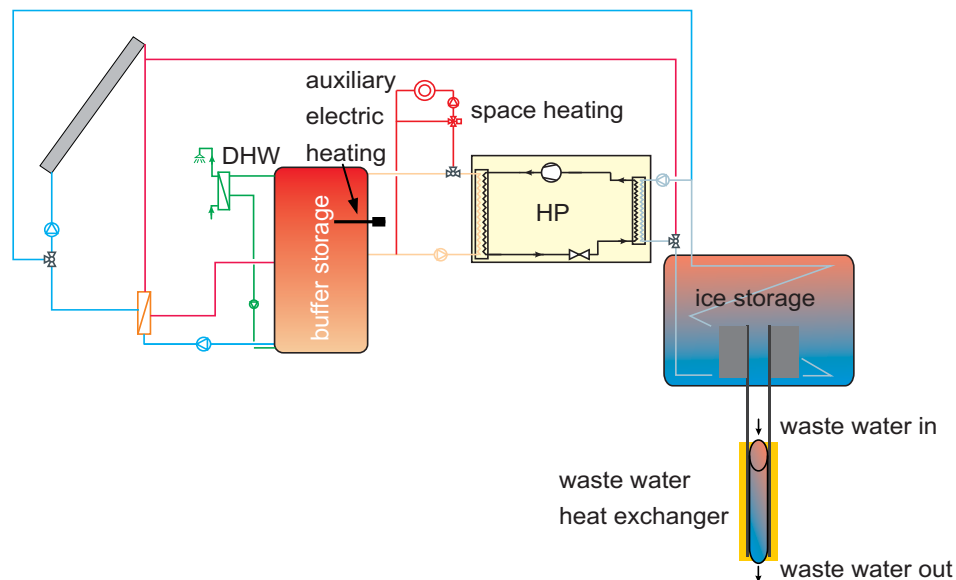


Abbildung 4: Schematisches Schaltbild des untersuchten Konzepts E

Die thermische Solaranlage lädt im Vorrang den Pufferspeicher und dann den Eisspeicher. Die Abwasser-Wärmerückgewinnung erfolgt im Durchlaufprinzip. Dazu sind Heat Pipes am Umfang des senkrechten Abwasserrohres angebracht, welche Wärme vom abfließenden Abwasser aufnehmen, wodurch das in den Heat Pipes enthaltene Arbeitsmittel verdampft wird. Das andere Ende der Heat Pipes ragt in den Eisspeicher. Hier wird das enthaltene Kältemittel wieder kondensiert und die dem Abwasser entzogene Wärme an den Speicher abgegeben. Dieser Kreislauf funktioniert nur, wenn das Temperaturniveau des Abwassers höher ist als jenes im Speicher. Eine sehr vorteilhafte Eigenschaft des Eisspeichers ist, dass über einen

großen Teil des Jahres ein relativ niedriges Temperaturniveau als Wärmesenke für die Heat Pipes zur Verfügung steht und auch noch bei niedrigen Abwassertemperaturen Wärme rückgewonnen werden kann.

5.1 Ergebnisse der Berechnungen

Für dieses Wärmebereitstellungssystem wurden Anlagenkonfigurationen hinsichtlich der Kollektorfläche und der Speichervolumen (Puffer- und Eisspeicher) berechnet, mit denen System-Jahresarbeitszahlen von 5,5 und 6,5 erzielt werden. Da dies mit unterschiedlichen Konfigurationen möglich ist, wurde jeweils jene Konfiguration ermittelt, bei der sich der geringste Wärmepreis ergibt. Dazu wurden für die thermische Kollektorfläche sowie für das Volumen des Pufferspeichers und des Eisspeichers jeweils obere und untere Grenzwerte definiert. Alle Berechnungen wurden für einen Heizwärmebedarf von 15, 30 und 45 kWh/m²a durchgeführt. Die Ergebnisse für 30 kWh/m²a sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Ergebnisse für Konzept E, Heizwärmebedarf 30 kWh/m²a

	SPF 5,5 mit AWR	ohne AWR	SPF 5,5 ohne AWR	SPF 6,5 mit AWR	ohne AWR	SPF 6,5 ohne AWR
Kollektorfläche [m ²]	20.6	20.6	30.1	23.6	23.6	32.9
Pufferspeicher [l]	250	250	250	450	450	450
Eisspeicher [l]	1500	1500	1500	1500	1500	1500
SPF System [-]	5.5	3.73	5.5	6.5	4.3	6.5
SD ₁ [%]	78	82	91	85	89	98
SD ₂ [%]	69	73	81	72	76	84
W _{el} (WP+direkt) [kWh]	1266	1869	1275	1074	1623	1073
W _{el} direkt [kWh]	394	1158	529	289	990	434
Wärmepreis [€/kWh]	0.191	0.202	0.205	0,195	0.208	0.212
Wärmerückgewinnung [kWh]	879	-	-	846	-	-

In der ersten Spalte der Tabelle 1 sind die Ergebnisse für die Anlagenkonfiguration mit dem geringsten Wärmepreis bei einer Systemarbeitszahl von 5,5 inkl. Abwasser-Wärmerückgewinnung angeführt. Es wurde eine Kollektorfläche von 20,61 m², ein Pufferspeichervolumen von 250 l und ein Eisspeichervolumen von 1500 l ermittelt. Der Wärmepreis beträgt in dieser Variante 0,191 €/kWh. Die aus dem Abwasser zurückgewonnene Wärmemenge beträgt 879 kWh/a. In der zweiten Spalte wurde berechnet, welche Systemarbeitszahl ohne Abwasser-Wärmerückgewinnung mit der ansonsten gleichen Systemkonfiguration erreicht werden kann. Die Systemarbeitszahl sinkt hier von 5,5 auf 3,73, da vor allem in den Wintermonaten

durch den Wegfall der Abwasserwärme mehr Energie direkt elektrisch zugeführt werden muss. In der dritten Spalte wurde berechnet, wie die Anlagenkonfiguration geändert werden muss, um auch ohne Abwasser-Wärmerückgewinnung eine Systemarbeitszahl von 5,5 zu erreichen. In diesem Fall muss die Kollektorfläche von 20,6 auf 30,1 m² vergrößert werden. Durch diese Maßnahme erhöht sich der Wärmepreis von 0,191 auf 0,205 €/kWh.

Diese Berechnungen wurden analog für eine Systemarbeitszahl von 6,5 durchgeführt (Spalte 4, 5 und 6).

5.1.1 Monatsbilanzen

Wie unter Punkt 4.2 erläutert, können mit den Ergebnissen aus dem Bewertungstool auch Monatsbilanzen grafisch dargestellt werden. In Abbildung 5 sind für Konzept E (inkl. AWR) die monatlichen Energieströme in das und aus dem System für einen Heizwärmebedarf von 30 kWh/(m²a) bei einer Systemarbeitszahl von 5,5 dargestellt.

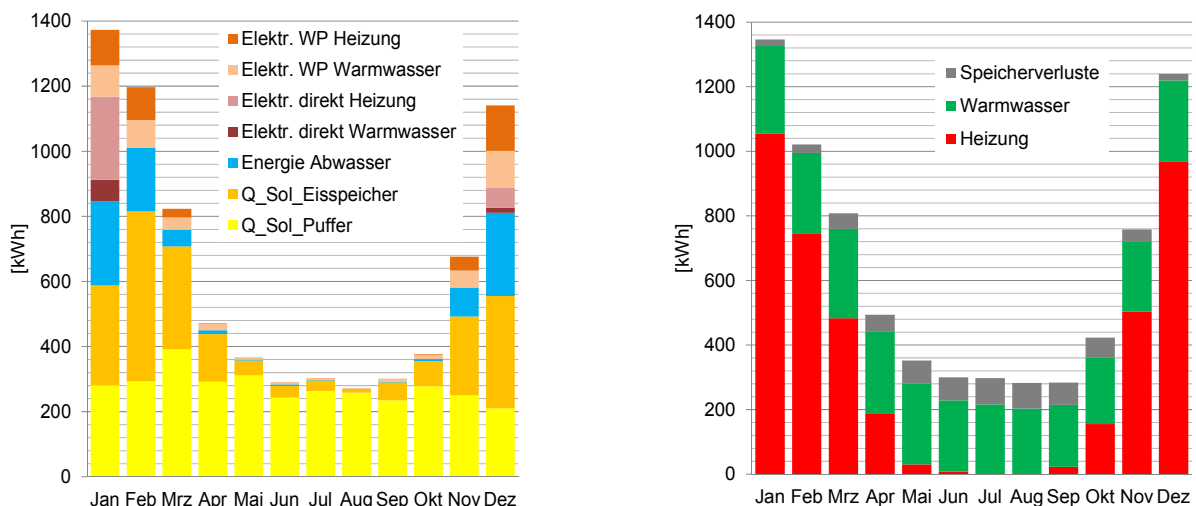


Abbildung 5: Monatsbilanzen für Heizwärmebedarf 30 kWh/(m²a) für Konzept E, Energie in das System (Input, links) und Energie aus dem System (Output, rechts)

Aus diesen Grafiken ist ersichtlich, dass in den Monaten Dezember und Jänner auf das Backup-System zurückgegriffen und elektrisch nachgeheizt werden muss. Der Grund dafür ist, dass in diesen Monaten die Temperatur im Eisspeicher sehr oft den unteren Grenzwert (-5 °C) erreicht und daher keine Energie mehr entzogen werden kann. Die Wärme aus dem Abwasser kann vor allem von November bis April genutzt werden. In den anderen Monaten liegt die Temperatur im Eisspeicher so nahe an der Abwassertemperatur, oder darüber, dass keine nennenswerte Wärmerückgewinnung erfolgen kann. Werden die Energiebilanzen input- und outputseitig miteinander verglichen, ist ersichtlich, dass monatsweise Unterschiede vorhanden sind. Die Energiebilanzen über das Jahr gesehen sind aber ausgeglichen. Die monatsweise Verschiebung entsteht dadurch, dass in das System gelieferte Solarenergie oder

Energie aus der Abwasser-Wärmerückgewinnung im System gespeichert und in anderen Monaten zur Deckung des Wärmebedarfs verwendet wird. In den Monaten Oktober bis Dezember ist dies deutlich erkennbar: hier ist der Wärmebedarf größer als das Wärmeangebot. In anderen Monaten wird wiederum mehr Energie in das System geliefert (Eisspeicher), als für die Abdeckung des Wärmebedarfs nötig ist.

5.1.2 Sensitivitätsanalyse

Für jedes der definierten Konzepte wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um aufzuzeigen, wie sich bei Veränderung der Anlagenkonfiguration die Systemarbeitszahl verändert, und inwieweit sich diese Veränderungen auf den Wärmepreis auswirken. Dabei wurde jeweils immer nur ein Parameter verändert. In Abbildung 6 sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für das in Abbildung 4 dargestellte Konzept E dargestellt. Bei diesem System wurden die Kollektorfläche, das Volumen des Pufferspeichers und des Eisspeichers, der Heizwärmebedarf des Gebäudes (also eine Änderung des Dämmstandards), der Wärmetauscher-Rückgewinnungsgrad und die Eisspeicherkosten variiert. Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem durch eine Vergrößerung der Kollektorfläche eine signifikante Steigerung der Systemarbeitszahl möglich ist, gleichzeitig steigt der Wärmepreis nur geringfügig an. Bei Anwendung der gleichen Systemkonfiguration in einem Gebäude mit einem Heizwärmebedarf von 45 kWh/(m²a) (HWB +50% in Abbildung 6) ergibt sich zwar ein niedrigerer Wärmepreis, aber gleichzeitig eine wesentlich niedrigere Systemarbeitszahl da das System für das schlechter gedämmte Gebäude unterdimensioniert ist. Umgekehrte Verhältnisse ergeben sich bei einem Passivhaus (HWB -50% = 15 kWh/(m²a)). In beiden Fällen müsste die Systemdimensionierung entsprechend adaptiert werden.

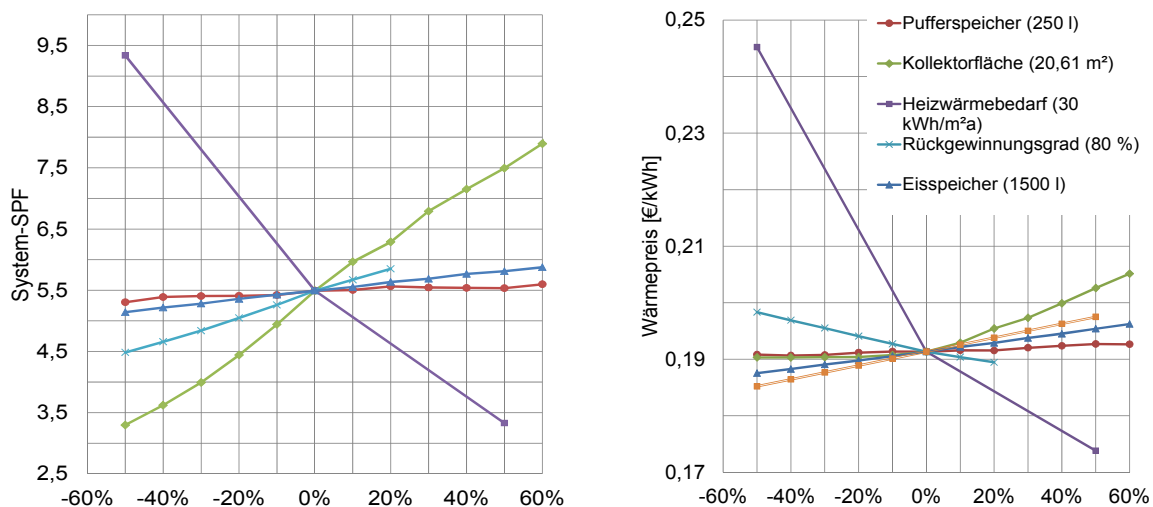


Abbildung 6: Sensitivitätsanalyse für die Systemarbeitszahl (links) und den Wärmepreis (rechts)

Eine Vergrößerung des Eisspeichers bewirkt eine Steigerung der Systemarbeitszahl, da mehr Solarenergie eingebracht werden kann und damit die Betriebszeit der direktelektrischen Nachheizung reduziert wird.

Da bei der durchgeführten Kostenrecherche nur wenige Daten zu Kosten von Eisspeichern erhoben werden konnten, wurden diese als zusätzlicher Parameter in der Sensitivitätsanalyse berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Verringerung/Erhöhung der spez. Eisspeicherkosten um $\pm 50\%$ eine Senkung bzw. Anhebung des Wärmepreises um ca. 0,007 €/kWh zur Folge hat.

Die Variation des Rückgewinnungsgrades des Abwasser-Wärmetauschers berücksichtigt den Einfluss, den eine evtl. vorhandene Verschmutzung des Wärmetauschers (Fouling) auf die Systemarbeitszahl haben kann. Es zeigt sich hier ein relativ starker Einfluss: die Systemarbeitszahl sinkt von 5,5 auf ca. 5,1 wenn der Rückgewinnungsgrad von 0,8 auf 0,64 reduziert wird. Dabei ist anzumerken, dass die Wärmerückgewinnung im beschriebenen Bewertungstool stark vereinfacht abgebildet wird. In den detaillierten Anlagensimulationen in TRNSYS, die im zweiten Teil des Projekts durchgeführt werden, können dazu genauere Untersuchungen angestellt werden.

6 Schlussfolgerungen / Ausblick

Die in den Feldmessungen ermittelten Daten zeigen, dass eine Abwasser-Wärmerückgewinnung aus den in den betrachteten Gebäuden anfallenden Abwässern möglich ist. Das höchste Potenzial zur Nutzung bietet dabei das Abwasser aus dem Badezimmer.

Mit dem entwickelten Bewertungstool konnten Berechnungen hinsichtlich der energetischen Effizienz und der Kosten von unterschiedlichen Konzepten für die Wärmebereitstellung mit Wärmepumpe, Solaranlage und Abwasser-Wärmerückgewinnung durchgeführt werden. Das Tool ermöglicht eine rasche Bewertung von unterschiedlichen Szenarien. Mit den durchgeführten Sensitivitätsanalysen kann gezeigt werden, welchen Einfluss eine Variation einzelner Parameter (Kollektorfläche, Speichergrößen, Rückgewinnungsgrade, Heizwärmebedarf etc.) auf die Systemarbeitszahl und den Wärmepreis hat.

Die Ergebnisse der Berechnungen für die unterschiedlichen Konzepte zeigen, dass die Einbindung einer Abwasser-Wärmerückgewinnung in Wärmebereitstellungsanlagen, in denen bereits das Erdreich oder Außenluft als Wärmequelle für die Wärmepumpe genutzt werden, keinen großen Vorteil hinsichtlich des Wärmepreises bringt.

Bei Konzepten, in denen außer dem Solarkollektor keine zusätzliche Wärmequelle für die Wärmepumpe vorhanden ist, zeigt sich, dass bei Einbindung einer Abwasser-

Wärmerückgewinnung als zusätzliche Wärmequelle für die Wärmepumpe die Effizienz des Systems deutlich verbessert und der Wärmepreis reduziert werden kann. Derartige Konzepte können für Niedrigenergiegebäude eine mögliche Alternative zur klassischen Erdreichwärmepumpe darstellen.

Durch das durch den Einsatz der Wärmepumpe bedingte tiefe Temperaturniveau im Speicher ergibt sich ein erhöhtes Potenzial sowohl für die Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser als auch für den Solarkollektor.

Aus den Ergebnissen ist auch ersichtlich, dass bei einer vorhandenen thermischen Solaranlage während der Sommermonate nur relativ geringe Wärmemengen aus dem Abwasser rückgewonnen werden können, da die Solaranlage meist ausreichend Wärme liefern kann bzw. der Pufferspeicher dadurch relativ warm ist und keine entsprechende Wärmesenke für die Wärmerückgewinnung vorhanden ist. Trotzdem können je nach Konzept im Jahresverlauf zwischen 30 und 50 % der für die Warmwasserbereitung notwendigen Wärmemenge zurückgewonnen werden.

Die beiden erfolgversprechendsten Wärmebereitstellungssysteme werden im nächsten Schritt in detaillierten dynamischen Anlagensimulationen in TRNSYS abgebildet und optimiert. In diesen Arbeiten werden Details, welche im Bewertungstool vereinfacht abgebildet wurden, genauer betrachtet. So kann z. B. die Modellierung der Wärmeübertragung im Abwasser-Wärmetauscher oder jene im Eisspeicher wesentlich genauer und mit wesentlich höherer zeitlicher Auflösung erfolgen.

7 Literaturquellen

A. Heinz, W. Lerch, J. Breidler, Ch. Fink (2011), Potentiale und Konzepte zur Wärmerückgewinnung aus Abwasser in Kombination mit Solarthermie und Wärmepumpe; Projekt-Zwischenbericht im Rahmen des Programms „Haus der Zukunft Plus“ im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

SEL (2005), TRNSYS 16, A Transient System Simulation Program, V 16.0.0.38, Solar Energy Lab, University of Wisconsin – Madison, USA, 2005

Danksagung

Dieses Projekt wird über des Forschungs- und Technologieprogramm „Haus der Zukunft Plus“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie finanziert.