

Entwicklung einer hocheffizienten Solarthermie-Wärmepumpen-Heizung mit Eisspeicher

Daniel Philippen, Michel Y. Haller, Elimar Frank, Stefan Brunold

Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik HSR, 8640 Rapperswil

daniel.philippen@solarenergy.ch, www.solarenergy.ch

Zusammenfassung

Résumé

Abstract

Mit der Kombination von Sonnenkollektoren und Wärmepumpen zu Heizzwecken kann durch die Nutzung der Solarenergie der Strombedarf der Wärmepumpen verringert und die Jahresarbeitszahl (JAZ) des Heizungssystems erhöht werden. Es werden Zwischenergebnisse eines Forschungsprojekts vorgestellt, in dessen Rahmen eine Wärme-erzeugungsanlage für Heizung und Warmwasser für ein Gebäude mit einer hohen Energiekennzahl von $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ für Raumheizung und mit Niedertemperaturheizkörpern entwickelt wird. Die geplante Pilotanlage kombiniert Solarkollektoren mit einer Wärmepumpe und soll eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von mindestens 6 erreichen. Verschiedene Systemkonzepte wurden mit Computersimulationen hinsichtlich ihrer Eignung für die Erreichung einer JAZ von 6 untersucht. Eine für die Zielerreichung wichtige Systemkomponente ist ein Latentwärmespeicher (Eisspeicher). Gemäss Simulationen mit TRNSYS sind die für die Erreichung einer JAZ von 6 benötigten Systemkomponenten eine Sole-Wasser-Wärmepumpe, ein Flachkollektorfeld von 30 m^2 , ein Eisspeicher mit 30 m^3 , ein warmer Pufferspeicher mit 2 m^3 und ein Wärmepumpen-Boiler für das Warmwasser mit 300 Liter Volumen. Für den Betrieb des Eisspeichers wurde ein Wärmeübertrager entwickelt, welcher im unteren Bereich des Eisspeichers installiert wird und periodisch zwischen den Laufzeiten der Wärmepumpe thermisch enteist werden kann.

When combining solar thermal collectors with heat pumps it is possible to reduce the electricity demand of the heat pump due to the use of solar heat which leads to a higher seasonal performance factor (SPF). Interim results of a research project are presented. The aim of the research project is the development of a heating system with a SPF of 6 for a building that has a high energy demand of $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ and a low-temperature heat delivery system. Different system concepts were evaluated with computer simulations in TRNSYS. A promising heating system for the achievement of the objective of an SPF of 6 contains a brine-water heat pump, 30 m^2 of flat plate collectors, an ice storage with 30 m^3 volume, a buffer storage with 2 m^3 and a heat pump boiler of 300 liters. For the efficient operation of the ice storage a heat exchanger was developed that is mounted in the lower part of the ice storage and that can be de-iced periodically with heat.

1. Ausgangslage

In der Schweiz werden heute in den meisten Neubauten für die Bereitstellung von Warmwasser und Heizenergie Wärmepumpen eingesetzt [1] und auch bei Gebäudesanierungen kommen heute vermehrt Wärmepumpen zum Einsatz.

In den vergangenen Jahren wurden verschiedene Feldstudien durchgeführt, mit denen die Systemeffizienz installierter Wärmepumpen-Heizungen ermittelt wurde. Als Vergleichsgrösse wird in den Studien die Jahresarbeitszahl (JAZ) verwendet, welche der Quotient ist aus innerhalb eines Jahres an das Gebäude abgegebener Wärme für Heizung und Warmwasser und der elektrischen Leistung, welche für diese Wärmelieferung benötigt wurde.

Monitoring-Ergebnisse einer grösseren Feldstudie [2], in der rund 100 Luft-Wasser-Wärmepumpen vermessen wurden, ergeben als durchschnittliche Jahresarbeitszahl dieser Luft-Wasser-Wärmepumpen-Systeme 2.7 (inklusive Berücksichtigung der Speicherverluste). Für Sole-Wasser Wärmepumpen liegt die durchschnittliche Jahresarbeitszahl gemäss dieser Studie bei 3.5. Eine weitere Feldstudie zeigt für 18 Luft-Wasser-Wärmepumpen für das Bilanzjahr 2009/2010 einen Durchschnittswert der Jahresarbeitszahlen von 3.0 respektive von 3.8 für Sole-Wasser-Wärmepumpen (jeweils ohne Berücksichtigung der Speicherverluste) [3].

Zur Steigerung der Jahresarbeitszahl können Sonnenkollektoren verwendet werden, welche in das Heizsystem integriert werden. Je nach Einbindung der Sonnenkollektoren in das Heizsystem kann dadurch die Laufzeit der Wärmepumpe verringert oder auch die Temperatur im Verdampfer der Wärmepumpe erhöht werden, was den Stromverbrauch der WP reduziert und die JAZ des Heizsystems steigert.

Mit diesem Beitrag werden Zwischenergebnisse eines Forschungsprojekts vorgestellt, welches das SPF im Auftrag der Elektrizitätswerk Jona-Rapperswil AG durchführt. Im Rahmen des Forschungsprojekts wird eine Heizungsanlage konstruiert, welche Solarkollektoren und eine Wärmepumpe kombiniert und welche eine Jahresarbeitszahl von 6 oder höher erreichen soll. Die Heizungsanlage soll diese Systemeffizienz in bestehenden Gebäuden mit hohen Energiekennzahlen um $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ für Raumheizung und mit niedrigen Vorlauftemperaturen von maximal 35°C erreichen können. Zudem soll als Wärmequelle für die Wärmepumpe keine Erdsonden verwendet werden, um die Heizung auch in Gebieten erstellen zu können, in denen die Verlegung von Erdsonden nicht zulässig ist.

2. Vorgehen

Vergleich von Systemkonzepten für eine Solarthermie-Wärmepumpen-Heizung

Aufbauend auf einer Marktrecherche, der Auswertung wissenschaftlicher Literatur wurden unterschiedliche Systemkonzepte ausgewählt und mit Simulationsrechnungen verglichen. Ziel dieser Analysen war es, das grundsätzliche System-Design der zu entwickelnden Solarthermie-Wärmepumpen-Heizung zu ermitteln, welches dann mittels Simulationen mit TRNSYS optimiert werden konnte. Für die vorgängigen Simulationen wurde ein Modell aufgebaut, welches die Energieflüsse der Systemkomponenten, die klimatischen Bedingungen und den Wärmebezug des Gebäudes in 1-Stunden-Zeitschritten berechnet.

Simulationsstudien für Variantenvergleich und Systemauslegung

Mit dem Computerprogramm TRNSYS [4] wurde das mit den vereinfachten Simulationen ausgewählte Systemkonzept vertieft analysiert. Simuliert wurden ein Gebäude und seine Energieversorgungsanlage einschliesslich der instationären Energiequellen und -senken, welche sich aus dem Klima und dem Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser ergeben. Das in den Simulationen abgebildete Gebäude ist ein zweistöckiges Einfamilienhaus mit einer beheizten Fläche von 140 m^2 , einem Heizwärmebedarf von $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und einem Energieverbrauch für Warmwasser von 3.04 MWh/a [5]. Es wird eine Niedertemperatur-Heizverteilung simuliert mit einer Auslegung auf 35°C Vorlauftemperatur. In den Simulationen wird ein Wetter-Datensatz von Rapperswil verwendet.

Systemkomponenten, welche in der Komponenten-Bibliothek von TRNSYS nicht enthalten waren, wurden für die Simulationsstudien programmiert. Es wurde ein mathematisches Modell eines Eisspeichers mit periodisch durch Wärmezufuhr enteisbaren Wärmeübertragern erstellt und mit Labormessungen an einem Eisspeichermodell mit 1 m³ Volumen validiert. Das Eisspeichermodell wurde mit einem Modell des ihn umgebenden Erdreichs gekoppelt [6], um Wärmeverluste und -gewinne über die Eisspeicherwände berechnen zu können.

Entwicklung eines enteisbaren Wärmeübertragers für den Eisspeicher

Beim Vergleich der Systemkonzepte hat sich gezeigt, dass Konzepte mit Eisspeichern schon mit vergleichsweise kleinen Kollektorfeldern eine JAZ von 6 erreichen können. Da der Eisspeicher in der entwickelten Solarthermie-Wärmepumpen-Heizung ein grosses Volumen haben wird, wurde in der Folge eine Strategie entwickelt, wie mit geringem Materialaufwand bei gleichzeitig hohen Übertragungsleistungen der Entzug und der Eintrag von Wärme aus dem Eisspeicher vorgenommen werden kann.

3. Definition der verwendeten Jahresarbeitszahl

Für die Vergleiche der Systemkonzepte wird eine Jahresarbeitszahl (JAZ) verwendet, welche auch die Wärmeverluste der Wärmespeicher berücksichtigt. Die Berücksichtigung der Speicherverluste ist insbesondere deshalb wichtig, da Systeme mit verschiedenen grossen (saisonalen) Speichern verglichen werden. Berücksichtigt in der JAZ wird also nur diejenige Wärme, welche vom Heizsystem an das Gebäude für Heizen und Warmwasser abgegeben wird. Die Jahresarbeitszahlen berechnen sich wie folgt:

$$JAZ = \frac{Q_{\text{Heizung}} + Q_{\text{Warmwasser}}}{W_{\text{Bereitstellung}}}$$

mit:

JAZ = Jahresarbeitszahl

$Q_{\text{Warmwasser}}$ = jährlich vom warmen Speicher bezogene Wärme für Warmwasser

Q_{Heizung} = jährlich vom warmen Speicher bezogene Wärme für die Raumheizung

$W_{\text{Bereitstellung}}$ = jährlicher Stromverbrauch von Kompressor, Umwälzpumpe Solarkreis und Hilfsenergie

4. Resultate

4.1 Vergleich unterschiedlicher Systemkonzepte

Verglichen werden Systemkonzepte, bei denen die Sonnenkollektoren und die Wärmepumpe auf unterschiedliche Arten kombiniert werden. Bei einer parallelen Kombination von Sonnenkollektoren und Wärmepumpe beladen diese den warmen Speicher unabhängig von einander. Bei serieller Kombination wird die solare Wärme aus den Kollektoren ausschliesslich auf dem Verdampfer der Wärmepumpe genutzt. In kombiniert parallel-seriellen Systemen sind beide Wege der Solarwärmenutzung realisiert [7].

Tabelle 1 zeigt für verschiedene Systemkonzepte die Grösse der wichtigsten Systemkomponenten und die aus den vereinfachten Simulationen resultierenden Jahresarbeitszahlen. Variante 0 („Luft-WP ohne Solarkollektoren“) ist eine Referenzvariante, bei der die Wärmebereitstellung allein mittels einer Luft-Wasser-Wärmepumpe erfolgt. Varianten 1 bis 3 sind Solarthermie-Wärmepumpen-Systeme, in welchen die Sonnenkollektoren den warmen Speicher ausschliesslich direkt beladen.

In den restlichen Varianten können die Sonnenkollektoren zusätzlich einen Eisspeicher beladen. Die Varianten 4 - 6 verwenden eine Wärmepumpe als Wärmequelle sowohl die Umgebungsluft als auch den Eisspeicher verwenden kann.

Mit Variante 7 wird ein System mit Sole-Wasser-Wärmepumpe simuliert, welche die Wärme ausschliesslich aus einem Eisspeicher bezieht, der von Sonnenkollektoren erwärmt wird.

Systemvariante	Fläche der Kollektoren [m ²]	Volumen warmer Speicher [m ³]	Volumen Eisspeicher [m ³]	Wärmepumpen-Typ	JAZ
0 Luft-WP ohne Sonnenkollektoren	-	0.5	-	Luft-Wasser	2.8
1 Luft-WP & Solar	16	1.8	-	Luft-Wasser	3.6
2 Luft-WP & Solar	32	2	-	Luft-Wasser	4.1
3 Luft-WP & Solar	100	4	-	Luft-Wasser	6.2
4 Luft/Sole-WP & Solar & Eisspeicher	32	2	0.3	Luft/Sole-Wasser	4.8
5 Luft/Sole-WP & Solar & Eisspeicher	32	2	5	Luft/Sole-Wasser	5.1
6 Luft/Sole-WP & Solar & Eisspeicher	45	2	5	Luft/Sole-Wasser	5.9
7 Sole-WP & Solar & Eisspeicher	32	2	35	Sole-Wasser	6.0

Tabelle 1 Simulierte Jahresarbeitszahlen (JAZ) für verschiedene Heizsysteme, mit denen ein Gebäude mit Niedertemperaturheizkörpern und einer Energiekennzahl von 100 kWh/m²a (für Raumheizung) versorgt werden kann (WP: Wärmepumpe, Solar: Sonnenkollektoren).

Die Ergebnisse der vereinfachten Simulationsrechnungen aus Tabelle 1 zeigen, dass bei den WP/Solar-Systemen, die lediglich über einen warmen Speicher verfügen (Systemvarianten 1 - 3), sowohl eine grosse Kollektorfläche (100 m²) als auch ein grosser warmer Speicher (4 m³) nötig ist, um eine JAZ von 6,0 oder höher zu erreichen (bei einer EKZ des Gebäudes von 100 kWh/m²a). Da diese Systemkomponenten somit zu gross ausfallen, wird das Systemkonzept der Varianten 1 - 3 nicht weiterverfolgt.

Durch den Einsatz eines Eisspeichers, der durch die Sonnenkollektoren beladen und von der Wärmepumpe mittels Sole-Wärmeübertrager als Wärmequelle genutzt werden kann, ist es möglich, mit deutlich kleineren Systemkomponenten die Jahresarbeitszahlen in Richtung 6.0 zu steigern. Um mit einem Systemkonzept wie in den Varianten 4 bis 6 eine JAZ von 6 zu erreichen, muss eine Wärmepumpe mit Hybrid-Verdampfer oder mit zwei in den Kältemittelkreislauf der Wärmepumpe integrierten Verdampfern entwickelt werden. Gleichzeitig muss ein vergleichsweise grosses Kollektorfeld mit einer Fläche von über 45 m² installiert werden. Aus diesen Gründen wird auch das Systemkonzept der Varianten 4 bis 6 nicht weiterverfolgt.

Variante 7 zeigt einen gangbaren Weg, wie mit der Kombination von 32 m² Kollektorfläche, einer markterhältlichen Sole-Wasser-Wärmepumpe und eines Eisspeichers mit 35 m³ Volumen eine JAZ von 6 erreicht werden kann. Dieses Systemkonzept wird in der Folge weiter betrachtet.

4.2 Konzept eines Eisspeichers mit periodisch enteisbaren Wärmeübertragern

Im ausgewählten Solarthermie-Wärmepumpen-Konzept wird ein Eisspeicher mit einem grossen Volumen eingesetzt werden. Als Speichermedium im Eisspeicher wird Wasser verwendet werden. Die Be- und Entladung des Speichers erfolgt mit Wärmeübertragern, welche in das Speicherwasser eingetaucht sind und welche mit Sole durchflossen werden, die auch bei Temperaturen unter 0°C flüssig bleibt. Das Speicherwasser kann an den Wärmeübertragern aufgrund des Wärmeentzugs durch die Wärmepumpe vereisen. Dadurch wird die während des Phasenwechsels des Wassers freigesetzte Wärme – zusätzlich zur sensiblen Wärme – für die Wärmebereitstellung genutzt.

Zu den Vorteilen von Eisspeichern gehören:

- eine hohe volumenbezogene Speicherkapazität durch Nutzen der Energie des Phasenwechsels von flüssig zu fest
- geringe Speicherverluste wegen niedriger Speichertemperaturen – respektive sind auch Speichergewinne möglich, wenn der Eisspeicher ausserhalb des Gebäudedämmperimeters installiert wird und kälter als seine Umgebung ist (v.a. im Winter und Frühling)
- Verzicht auf eine Wärmedämmung des Eisspeichers oder reduzierte Dämmung je nach Lage des Speichers (z.B. im Keller oder erdvergraben im Garten)
- die Regeneration des Speichers durch Solarwärme oder Abwärme ist auch auf niedrigem Temperaturniveau möglich
- die Möglichkeit, durch Einbindung eines Eisspeichers auf der Quellseite einer Wärmepumpe auf Erdsonden und Lufteinheiten als Wärmequellen verzichten zu können
- ggf. die zusätzliche Kühlung des Gebäudes mit dem Eisspeicher im Sommer

Als Hülle für den Eisspeicher wird eine Betonzisterne verwendet werden, welche frostsicher im Erdreich vergraben wird und deren obere Hälfte aussen mit Schaumglasplatten wärmegeklämt wird.

Zu beachten bei der Konstruktion von Eisspeichern ist, dass durch die Eisbildung auf den Wärmeübertragern die Entzugsleistung stark verringert werden kann [8]. Für eine Wärmepumpe, welche den Eisspeicher als Wärmequelle nutzt, führt dies zu sinkenden Quelltemperaturen und somit zu einer geringeren Leistungszahl (COP). Um trotz zunehmender Vereisung des Eisspeichers während der Heizsaison eine genügend grosse Entzugsleistung für die Wärmepumpe zu gewährleisten, wird für die geplante Solar-WP-Anlage die Strategie verfolgt, die Eisschichten auf den Wärmeübertrager zu entfernen, falls deren Dicke zu gross wird und die Entzugsleistung für die Wärmepumpe in der Folge zu gering wäre. Die Eisschichten werden zwischen den Laufzeiten der Wärmepumpe entfernt werden, in dem die Wärmeübertrager über 0°C erwärmt werden und das Eis dadurch abschmilzt. Das Abschmelzen kann mit den Solarkollektoren oder alternativ mit Wärme aus dem unteren Bereich des Heizungspufferspeichers erfolgen. Mit der Enteisung wird erreicht, dass der Wärmeübertrager vor Beginn des nächsten Heizzyklus der Wärmepumpe wieder frei von Eis ist und der Wärmedurchgangskoeffizient somit wieder hoch ist.

Es wurde ein enteisbarer Platten-Wärmeübertrager entwickelt, welcher am Boden des Eisspeichers installiert wird. Durch das Enteisen lösen sich die Eisplatten und sammeln sich an der Wasseroberfläche im Eisspeicher an. Ein Eisspeicher im Labormassstab von 1 m³ wurde aufgebaut und für die Messung von Ver- und Enteisungszyklen und für die Validierung des mathematischen Modells des Eisspeichers für die Simulationen verwendet (Details siehe [8]).

4.3 Hydraulikschema für das ausgewählte Systemkonzept

Für die Einbindung des Eisspeichers mit periodisch enteisbaren Wärmeübertragern wurde ein Hydraulikschema entworfen (Abbildung 1).

Der Pufferspeicher der Heizung wird vom Kollektorfeld oder der Wärmepumpe beladen. Die Wärmepumpe bezieht die Wärme aus dem Eisspeicher und bei ausreichender solarer Einstrahlung mit paralleler Schaltung auch aus dem Kollektorfeld. Mit der Pumpe des Solarkreises wird hierfür ein Teil der Sole solar erwärmt und vor der Wärmepumpe der Sole beigemischt, welche vom Eisspeicher kommt. Der Eisspeicher wird im Sommer vom Kollektorfeld via Solekreis auf hohe Temperaturen aufgeheizt und im Laufe des Herbsts durch den Wärmeentzug der Wärmepumpe auf 0°C abgekühlt, worauf die Vereisung beginnt. Liegt die Temperatur des Eisspeichers am Anfang der Heizsaison über der des Pufferspeichers, kann mittels Umwälzpumpe Wärme vom Eisspeicher in den Pufferspeicher übertragen werden (ohne Betrieb der Wärmepumpe). Die Enteisung der am Boden des Eisspeichers angebrachten Wärmeübertrager erfolgt mit Wärmeeintrag aus dem Kollektorfeld oder aus dem unteren Bereich des Pufferspeichers.

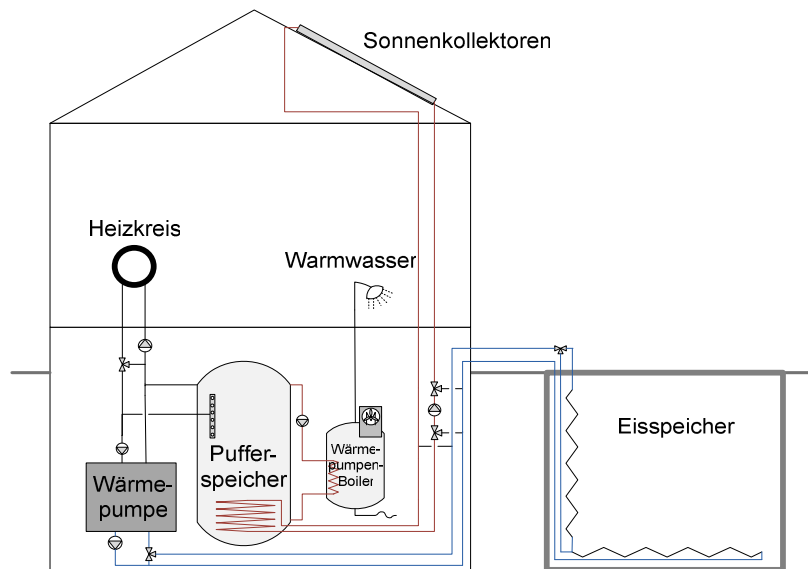


Abbildung 1 Vereinfachtes hydraulisches Schema der Solarthermie-Wärmepumpen-Heizungsanlage mit Eisspeicher.

Das Warmwasser im Wärmepumpen-Boiler kann bei ausreichenden Temperaturen allein mit Wärme aus dem Pufferspeicher bereitgestellt werden (v.a. im Sommer). Je nach Warmwasserverbrauch kann auf den Wärmepumpen-Boiler verzichtet werden und stattdessen mit einem in den Pufferspeicher eingebrachten Wärmeübertrager und mit einem Durchlauferhitzer als Nachheizung das Warmwasser generiert werden. Zusätzliche Wand-Wärmeübertrager im Eisspeicher dienen der Erhöhung der Wärmeabgabe des Speichers an die Wärmepumpe, wenn keine Vereisung an den Boden-Wärmeübertragern stattfindet und die Wärmeübertragungsleistung vom Speicherwasser an die Sole in den Wärmeübertragern gering ist. Ausserdem können die Wand-Wärmeübertrager zur Schichtung bei Be- und Entladen des Eisspeichers eingesetzt werden, was exergetisch vorteilhaft ist.

4.4 Variantenvergleich mit TRNSYS Simulationen

Mit den TRNSYS-Simulationen wurden verschiedene Konfigurationen des Heizsystems mit Eisspeicher untersucht. Variiert wurden dabei verschiedene Grössen und Leistungen der Systemkomponenten wie Kollektoren, Wärmepumpe, Eisspeicher und warmer Speicher. Mit den Simulationen wurde zudem auch die Steuerungslogik entwickelt.

Für das untersuchte Gebäudemodell mit $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ Heizenergieverbrauch und Niedertemperaturheizkörpern (Auslegung auf 35°C Vorlauftemperatur) ergeben die Simulationen, dass neben der Sole-Wasser-Wärmepumpe 30 m^2 Flachkollektoren, 2 m^3 Pufferspeicher, ein Wärmepumpen-Boiler mit 300 Liter Speicherinhalt und ein Eisspeicher mit 30 m^3 Volumen benötigt werden, um eine Jahresarbeitszahl von 6 zu erreichen. Die obere Hälfte des Eisspeichers ist mit 20 cm Schaumglasplatten wärmegeämmt.

Abbildung 3 zeigt für ein simuliertes Jahr die Monatsbilanzen der Wärme, welche bei dieser Anlagenauslegung vom Gebäude bezogen wird, und den Anteil der Systemkomponenten an der Bereitstellung der Wärme. Das Warmwasser wird von Juni bis September zu 100% solar bereitgestellt. Die solare Deckung der gesamten Wärmeversorgung liegt inklusive solarer Wärme, welche via Eisspeicher und Wärmepumpe bereitgestellt wird, bei 84%. Betrachtet man nur die direkt genutzte Solarenergie, liegt die solare Deckung bei rund 29%.

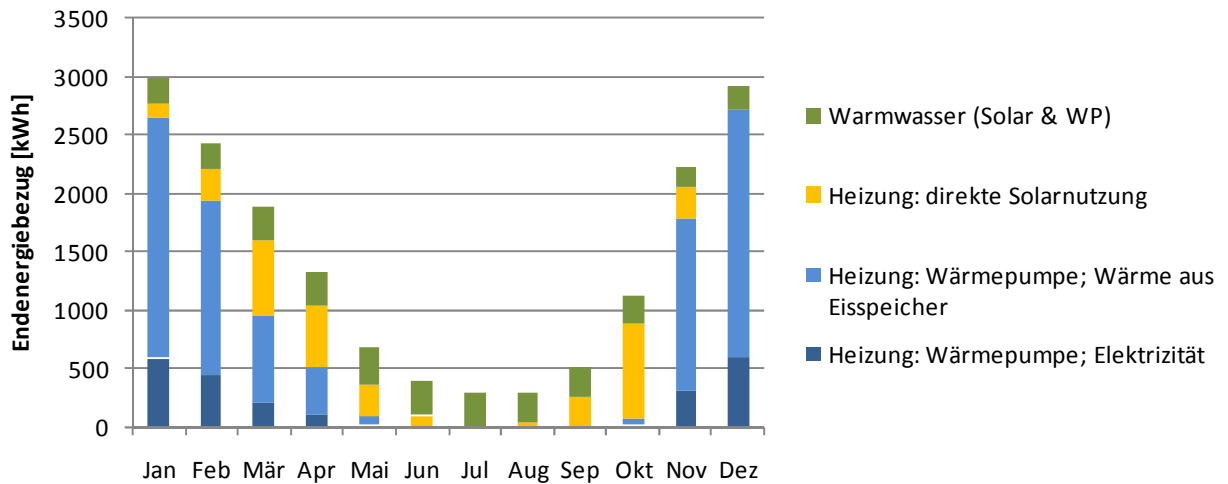


Abbildung 2 Simulierte Monatsbilanzen des Endenergiebezugs der Solarthermie-Wärmepumpen-Heizung, welche mit 30 m² Kollektorfläche, 30 m³ Eisspeicher und 2 m³ warmen Speicher eine Jahresarbeitszahl von 6 erreicht.

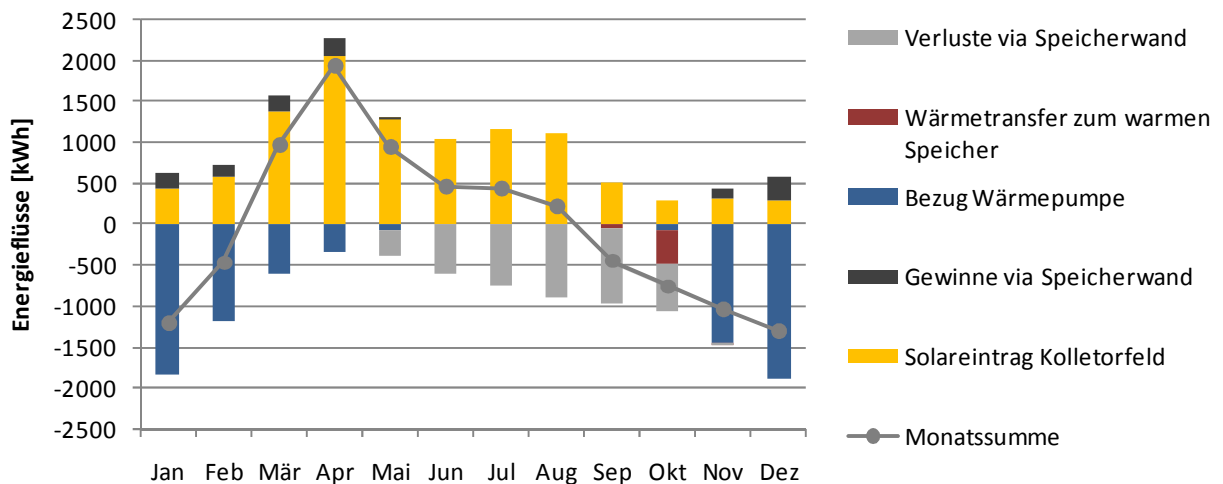


Abbildung 3 Simulierte Energieflüsse im Eisspeicher mit 30 m³ Volumen.

Abbildung 3 zeigt die monatlichen Energiebilanzen des Eisspeichers. Während im Frühjahr das Eis im Eisspeicher solar aufgetaut wird, generiert das Kollektorfeld sehr hohe Erträge, die dann mit ansteigenden Temperaturen des Speicherwassers im Sommer sinken. Die Verluste des Eisspeichers an das umliegende Erdreich über die Speicherwände von Mai bis Oktober sind rund 3.5 mal so hoch wie die Gewinne im Winter. Eine stärkere Wärmedämmung des Eisspeichers würde die Verluste senken – die Simulationen zeigen aber, dass dann auch das Eisspeichervolumen erhöht werden müsste, da das Mehr an saisonal gespeicherter Wärme nicht ausreicht, um die durch stärkere Wärmedämmung gesenkten Wärmegewinne im Winter auszugleichen. Diese Gewinne wiederum verhindern, dass das Eisvolumen im Eisspeicher zu stark zunimmt.

5. Diskussion

Der mit den Simulationen vorgenommene Vergleich der Systemkonzepte von Solarthermie-Wärmepumpen-Heizung zeigt, dass eine JAZ von 6 für den untersuchten Gebäudetyp mit einer Energiekennzahl von 100 kWh/m²a mit geringem Materialaufwand realisierbar ist, wenn ein Teil der im Winter benötigten Heizenergie im Sommer mit Sonnenkollektoren gewonnen und saisonal gespeichert wird. Zur Speicherung des sommerlichen Überschusses kann ein Eisspeicher verwendet werden, welcher als Wärmequelle für die Wärmepumpe eingesetzt wird. Eisspeicher

haben hohe volumenspezifische Speicherkapazitäten, da sie die Wärme des Phasenwechsels des Wassers von flüssig zu fest nutzbar machen. Dies macht es möglich, in vergleichsweise kleinen Volumen viel Wärme zu speichern. Der Eisspeicher kann aufgrund seines tiefen Temperaturniveaus ausserhalb des Gebäudes erdvergraben installiert werden.

Mit Hilfe von Simulationen mit TRNSYS wurde eine Solarthermie-Wärmepumpen-Heizung konzipiert, die ein Gebäude mit einer Energiekennzahl von 100 kWh/m²a für Raumheizung und Niedertemperaturheizkörpern versorgen kann und dabei eine Jahresarbeitszahl von 6 erreicht. Die hierfür benötigten Systemkomponenten sind eine Sole-Wasser-Wärmepumpe, ein Flachkollektorfeld von 30 m², ein Eisspeicher mit 30 m³, ein warmer Pufferspeicher mit 2 m³ und ein Wärmepumpen-Boiler für das Warmwasser mit 300 Liter Volumen.

Um für die Wärmepumpe hohe Entzugsleistungen und Quelltemperaturen auch während der Vereisungsphasen zu gewährleisten, wurde ein periodisch enteisbarer Wärmeüberträger entwickelt und getestet.

6. Ausblick

Im Herbst 2012 wird eine Pilotanlage gemäss dem in Kapitel 4 vorgestellten Systemkonzept in einem Kindergarten realisiert. Die Pilotanlage wird während 2 Jahren mit einem Monitoring begleitet, mit welchem die Anlageneffizienz vermessen werden wird und die Steuerung optimiert werden kann. Die Erkenntnisse aus dem Monitoring werden auch in die Optimierung des Anlagen-Designs einfließen.

Die Arbeiten wurden finanziert von der Elektrizitätswerk Jona-Rapperswil AG.

7. Literatur/Referenzen – Littérature/références – Literature/references

- [1] CS 2009: Swiss Issues Immobilien, Immobilienmarkt 2009, Fakten und Trends. Credit Swiss Economic Research, Zürich
- [2] Erb M., Hubacher P., Ehrbar M., 2004. Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen - FAWA 1996-2003.
- [3] Miara M., Günther D., Kramer, T., Oltersdorf, T. & Wapler, J., 2011. Wärmepumpen Effizienz - Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb - Kurzfassung. Fraunhofer ISE, Freiburg.
- [4] Klein S. A., Beckman W. A., Mitchell J. W., 2004. TRNSYS 16, A Transient System Simulation Program. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison USA.
- [5] Heimrath R. und Haller M. Y., 2007. Project Report A2 of Subtask A: The Reference Heating System, the Template Solar System [Bericht]. - Graz : Institut für Wärmetechnik, Graz University of Technology, 2007.
- [6] Stegmann M., Steinweg J., Janßen S., 2012. Modellierung eines erdvergrabenen Wärmespeichers – Kombination von Wärmespeicher und umgebenen Erdreich in TRNSYS. Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln (ISFH) und janßen energieplanung, Hannover. 22. OTTI Symposium Thermische Solarenergie 2012, Bad Staffelstein.
- [7] Haller M. Y., Frank E. (2010), Kombination von Wärmepumpen mit solarthermischen Kollektoren – Konzepte und Fragestellungen, BRENET – 16. Status-Seminar „Forschen und Bauen im Kontext von Energie und Umwelt“, ETH Zürich, 2./3. September 2010
- [8] Philippen D., Haller M. Y., Logie W., Thalmann M., Brunold S., Frank E., 2012. Development of a heat exchanger that can be de-iced for the use in ice stores in solar thermal heat pump systems. Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik Rapperswil. EuroSun2012, 18. - 20. September 2012, Rijeka & Opatija, Kroatien. (Veröffentlicht am 20.9.2012)