

Wärmepumpen-Systeme mit selektiven unabgedeckten und frei belüftbaren abgedeckten Kollektoren als einzige Wärmequelle

I. Mojic, M.Y. Haller, B. Thissen¹, E. Frank
Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik HSR
Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil
Tel. : +41 55 222 4162, Fax: +41 55 222 4844
E-Mail: igor.mojic@solerenergy.ch
¹ Energie Solaire S.A.
Rue des Sablons 8, Case postale 353, CH-3960 Sierre
Tel.: +41 27 451 13 20
E-Mail: b.thissen@energie-solaire.com

Einleitung

Bei Neubauten oder einem Heizungsersatz werden heutzutage sehr häufig Wärmepumpensysteme (WP) eingesetzt. Dabei werden vor allem die zwei bekanntesten Wärmepumpentypen Luft/Wasser und Sole/Wasser eingebaut. Jedoch können diese durch ihre spezifischen Eigenschaften und Anforderungen nicht überall eingesetzt werden. Zum Beispiel können für die Sole-Wärmepumpe die erforderlichen Erdsonden nicht an jedem beliebigen Ort realisiert werden. Bei Luft-Wärmepumpen können beispielsweise Geräuschemissionen der Ausseneinheiten ein Ausschlusskriterium sein. Abhilfe können in manchen Fällen unabgedeckte Solarkollektoren bringen, welche einerseits direkt Wärme auf Nutztemperaturniveau zur Verfügung stellen und andererseits von der Wärmepumpe als Wärmequelle genutzt werden. Der Vorteil von unabgedeckten Kollektoren ist hier, dass sie nicht nur Solarstrahlung, sondern bei Betrieb unter Umgebungstemperatur auch konvektive sensible und latente Wärme aus der Luft nutzen können. Andererseits treten – verglichen mit abgedeckten Kollektoren - höhere Wärmeverluste bei hoher Sonneneinstrahlung und hoher Absorber Temperatur auf, was zu Leistungseinbußen in der direkten solaren Nutzung führt. Eine Alternative zu den unabgedeckten Kollektoren sind Kollektoren, welche je nach Bedarf belüftet werden können. Im Gegensatz zu den von Keller et al. [1] vorgeschlagenen und von der Firma Consolar mit dem SOLAERA-System [2] erstmals eingeführten abgedeckten Kollektoren mit erzwungener Luftströmung wird in diesem Beitrag untersucht, ob eine ausreichende Belüftung nicht auch durch freie Konvektion zwischen Glasscheibe und Absorber erreicht werden kann.

Beschreibung von System und Komponenten

In diesem Beitrag werden drei verschiedene Solar-WP Systeme mit verschiedenen Quellen für die WP vorgestellt und mittels Simulationen miteinander verglichen:

- **Referenz System (Referenz):** Solar-WP System mit Luft/Wasser Wärmepumpe (Split) und abgedeckten Standard Kollektoren
- **Kollektor-Eisspeicher System unverglast (Unverglast):** Solar-WP System mit Sole/Wasser Wärmepumpe, selektiven unverglasten Kollektoren und Eisspeicher
- **Kollektor-Eisspeicher System verglast/belüftbar (Belüftet):** Solar-WP System mit Sole/Wasser Wärmepumpe, verglasten Kollektoren (mit kontrollierbarer freier Konvektion) und Eisspeicher

Die Simulationen wurden basierend auf dem europäischen Projekt „MacSheep¹“ durchgeführt. Die Grundlagen für MacSheep wiederum bauen wesentlich auf denen des IEA SHC/HPP Task44/Annex38 [3] auf, welche im Folgenden mit T44A38 referenziert werden. Die Simulationen wurden mit TRNSYS 17 durchgeführt.

Der hydraulische Aufbau des Referenz Systems ist in Abbildung 1 zu sehen. Die simulierte Referenz stellt ein System dar, welches dem heutigen Stand der Technik entspricht und so oder sehr ähnlich schon oft im Feld installiert wurde (verglichen zu den Feldinstallationen wurden kleine Anpassungen an der Hydraulik vorgenommen, um das System zu optimieren).

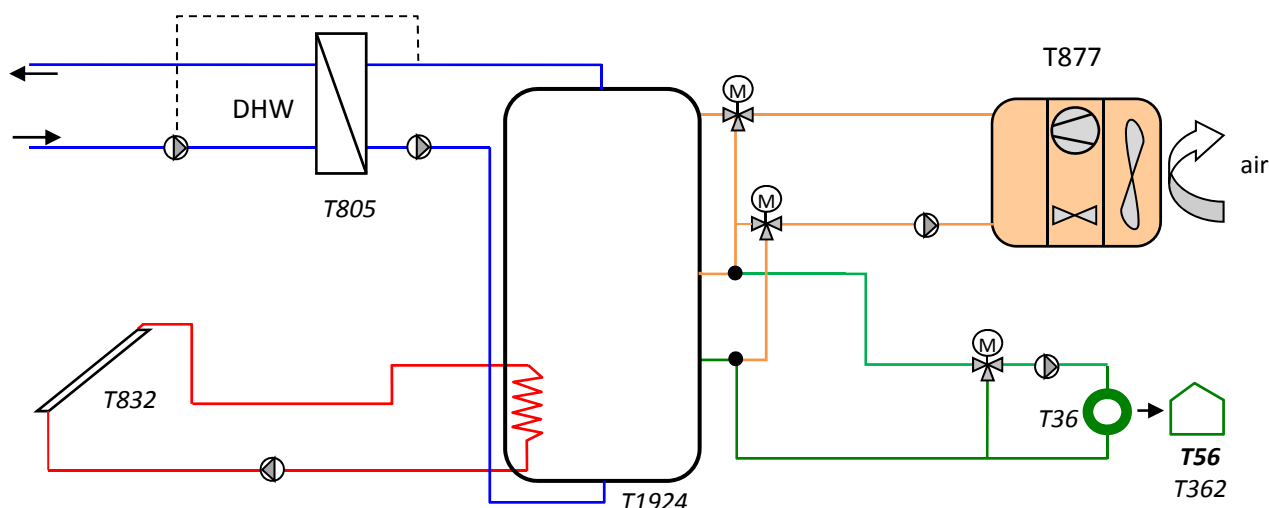


Abbildung 1: Hydraulische Darstellung des Referenz Systems basierend auf MacSheep

Tabelle 1 zeigt die Simulationsmodelle und Parameter welche für das Referenz System in TRNSYS genutzt wurden.

¹ MacSheep: New Materials and Control for a next generation of compact combined Solar and heat pump systems with boosted energetic and exergetic performance. Website: <http://macsheep.spf.ch/>

Tabelle 1: Komponenten Zusammenfassung des Referenzsystems

Komponente	TRNSYS Type	Beschreibung / Parameter
Kollektor	Type 832 [4]	Standard Kollektor, 45° Anstellwinkel, Süd-Ausrichtung, $a_1 = 3.95 \text{ W/m}^2\text{K}$, $a_2 = 0.0122 \text{ W/m}^2\text{K}^2$, $\eta_0 = 0.793$
Speicher	Type 1924 [5]	750 Liter Speicher mit internem Solar-WT ($U_a = 1125 \text{ kJ}/(\text{hm}^2\text{K})$)
Ext. Wärmetauscher	Type 805 [6]	Ohne Wärmeverluste
Wärmepumpe	Type 877 [7]	Luft – WP mit ca. 8kW Leistung (COP bei $A2/W35 = 3.5$)
Gebäude	Type 56 [8]	Standard Type, Mehrzonen Gebäude
Bodenheizung	Type 362 [9]	Vorlauf/Rücklauftemperatur = 35/30 (für Davos und Helsinki = 40/35)

In Abbildung 2 ist der hydraulische Aufbau der beiden alternativen Systeme dargestellt. Diese unterscheiden sich vom Referenzsystem im Wesentlichen durch den zusätzlichen Eisspeicher auf der kalten Seite und die verschiedenen Kollektortypen. Dabei dienen der Eisspeicher und die Kollektoren als einzige Wärmequellen für die WP, welche hier als Sole/Wasser - Wärmepumpe simuliert wurde.

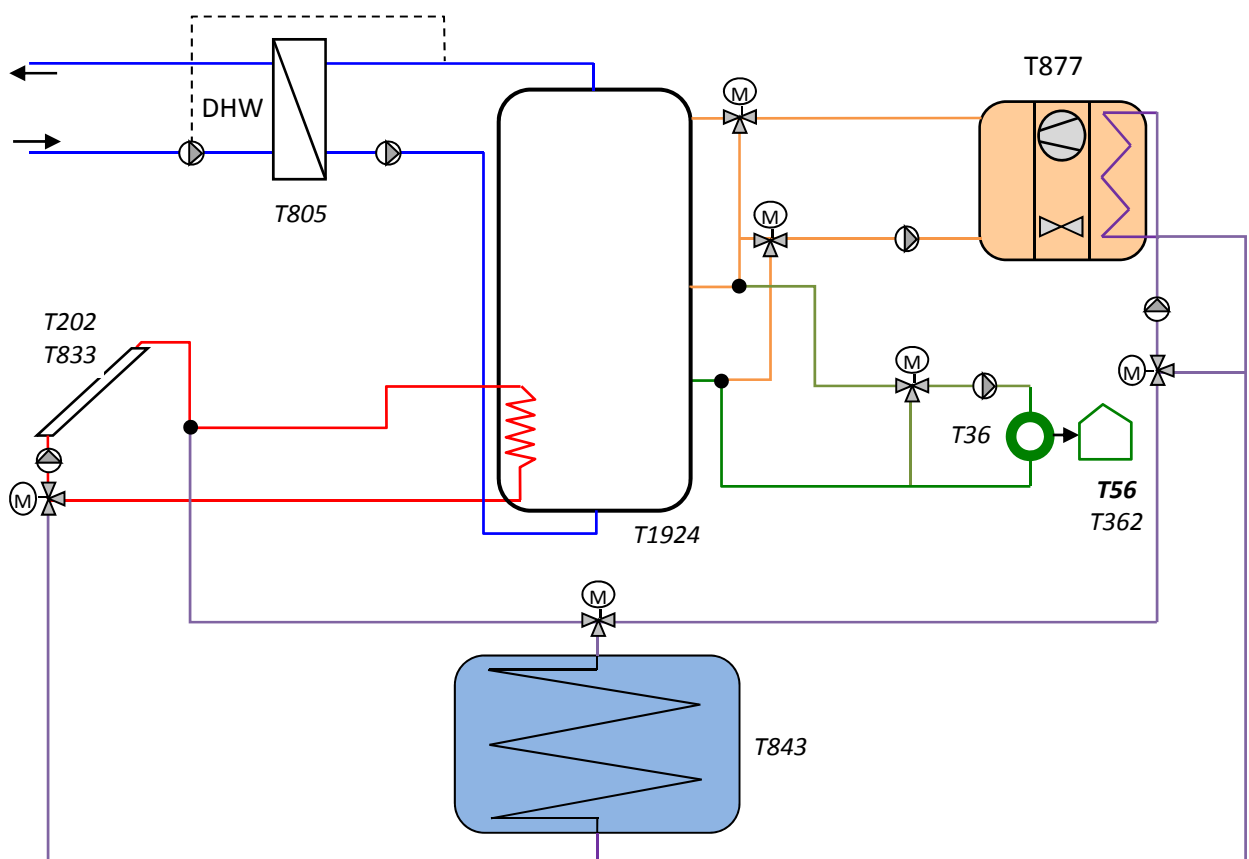


Abbildung 2: Hydraulische Lösung der beiden alternativen Systeme mit Eisspeicher Nutzung

Tabelle 2 zeigt die Simulationsmodelle und Parameter welche zusätzlich zum Referenzsystem benötigt wurden um die Alternativsysteme zu simulieren.

Tabelle 2: Komponenten Zusammenfassung für die Alternativsysteme

Komponente	TRNSYS Type	Beschreibung / Parameter
Kollektor unverglast	Type 202 [10]	Model für unverglaste selektive Kollektoren mit Kondensationsgewinnen, $a_1 = 9 \text{ W/m}^2\text{K}$, $a_2 = 0 \text{ W/m}^2\text{K}^2$, $\eta_0 = 0.954$
Kollektor belüftet	Type 833	Erweiterung des Type 832 im Rahmen von MacSheep, neu Umschaltung zwischen zwei Kollektorparameter-Sets möglich während der Simulation.
Wärmepumpe	Type 877 [7]	Sole – WP mit ca. 8kW Leistung (COP bei B0/W35 = 4.65)
Eisspeicher	Type 843 [11]	400 Liter Eisspeicher mit Rohrwendel Wärmetauscher (20 mm Durchmesser, 3 cm Rohr zu Rohr Abstand)

Bei nicht ausreichender Wärmelieferung der Wärmepumpe, z.B. bei zu tiefen Quellentemperaturen, wird eine elektrische Nachheizung im WP-Speicher Kreis eingeschaltet. Dabei wird bei allen Simulationen in dieser Arbeit maximal ein Prozent „Penalty“ erlaubt. Dieser „Penalty“-Wert (pen) bestraft Komfort-Einbussen für das Nichterreichen der Sollwerte für die Raumtemperatur und die Warmwassertemperatur in einzelnen (wenigen) Zeitschritten und wird nach T44A38 [12] berechnet.

Klima und Heizwärmebedarf

Es wurden in diesem Beitrag verschiedene Standorte mit ihren jeweilig typischen Klimata gewählt. Das simulierte Gebäude entspricht einem Einfamilienhaus mit einem Heizenergiebedarf von $45 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für Strassburg (T44A38).

Tabelle 3: Klima und Standort Übersicht

Standort	Heizwärmebedarf [kWh/(m²a)]	Durchschnitts- temperatur [°C]	Bemerkung
Zürich, CH	56.4	9.1	Schweizer Referenz
Graz, A	46.3	10	mildes Mittel-Europäisches Klima
Würzburg, DE	57.9	9.1	Deutsche Referenz
Carcassonne, F	23.2	13.2	Südliches warmes Klima
Davos, CH	79.6	2.8	Kaltes, sonnenreiches Klima
Helsinki, FIN	93.3	5.5	Kaltes, sonnenarmes Klima

Durch den fixen Gebäudeaufbau schwankt der Heizwärmebedarf für die verschiedenen Standorte stark. Das bedeutet auch, dass z.B. für Davos und Helsinki das System nicht ausreichend Wärme liefern kann und die elektrische Nachheizung einspringen muss, was wiederum zu tiefen JAZ führt. Für den Vergleich der drei Systeme spielt dies keine Rolle, da die relativen Verhältnisse von Interesse sind.

Das Warmwasserprofil vom T44A38 wurde angepasst, um ein realistischeres Profil zu erhalten. Dies ist wichtig, um die Systeme auch unter strengeren Bedingungen untereinander vergleichen zu können. Die Parameter für den Warmwasserbedarf sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Das Profil wurde mit dem Programm DHWCalc [13] berechnet, aufbauend auf der Theorie von Jordan und Vajen [14].

Tabelle 4: Schlüsselinformationen zum Warmwasserprofil

Gesamtvolumen (45-10°C)	m ³	73
Durchschnittliche Zapfungen pro Tag	-	28.8
Jährlich verbrauchte Energiemenge für Zürich	kWh	3038
Max. Durchfluss über einen TRNSYS Zeitschritt	kg/h	997
Min. Durchfluss über einen TRNSYS Zeitschritt	kg/h	3.0
Max. Durchfluss für UA-Berechnung	kg/h	1046
Min. Durchfluss für UA-Berechnung	kg/h	6.0

Systemkosten

Die verschiedenen Systemvarianten wurden kostentechnisch so ausgelegt, dass sie für den Endkunden etwa gleich viel kosten. Das bedeutet z.B. dass die Einsparungen, welche durch die Kostendifferenz zwischen verglasten (Referenz System) und unverglasten Kollektoren entsteht, dafür genutzt wurden um die Kollektorfläche beim „Unverglast“ System zu erhöhen. Das System mit den belüfteten Kollektoren kostet für den Endkunden ca. 1000 € mehr, jedoch sind die Kollektorkosten hier ein grosser Unsicherheitsfaktor. Für die Kostenrechnung wurden möglichst alle Komponenten mitberücksichtigt wie z.B.: der Eisspeicher, Austausch Luft-WP mit Sole-WP, Pumpen usw. Die Kostenberechnungen wurden mit konkreten Endkundenpreisen erstellt, welche wiederum auf Daten von MacSheep basieren.

Aufbau und Parameter des verglasten belüftbaren Kollektors

Abbildung 3 zeigt eine einfache Funktionsskizze des frei belüftbaren Kollektors. Dieser kann dank freier Konvektion durch geöffnete Belüftungskanäle die Stagnationstemperatur reduzieren oder aber die Umgebungstemperatur als Wärmequelle für die Wärmepumpe nutzen. Bei geschlossenen Belüftungskanälen dient dieser Kollektor wie ein Standard Kollektor als Wärmequelle für den Warmwasserspeicher oder den Eisspeicher. Dabei wird in dieser Arbeit in erster Linie nur das Potenzial eines solchen Systems analysiert, es werden z.B. keine detaillierten Überlegungen zum Öffnungsmechanismus gemacht.

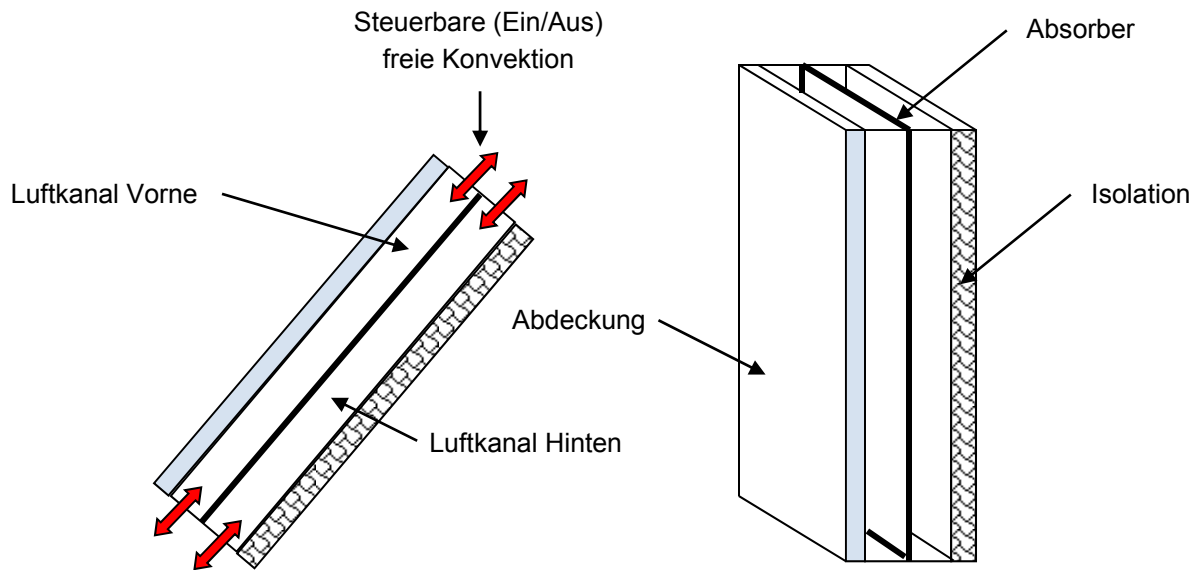


Abbildung 3: Skizze des frei belüftbaren Kollektors

Die Kollektorparameter bei geöffneten Lüftungskanälen wurden in EES (Engineering Equation Solver), in Anlehnung an die Modelle vom Kollector 2.2 Programm [15], berechnet. Die freie Konvektion im Luftspalt wurde vereinfacht mittels Näherungsgleichungen aus dem VDI Wärmeatlas [16] abgebildet. In Tabelle 5 sind die wichtigsten Kollektor Parameter aufgeführt welche in der Simulation benutzt wurden.

Tabelle 5: Ausgewählte Kollektor Parameter bei offenen und geschlossenen Lüftungskanälen

Parameter	Geschlossen	Offen
a_1	3.95 W/(m ² K)	11 W/(m ² K)
a_2	0.0122 W/(m ² K ²)	0.0265 W/(m ² K ²)
η_0	0.793	0.8
Luftspalthöhe (pro Seite)	-	7 cm
Anstellwinkel	45°	45°

Der Kollektorparameter a_1 hat einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzung der Umgebungswärme als Wärmequelle für die WP. Dieser Wert ist in der Realität vermutlich windabhängig, was jedoch in dieser Simulationsanalyse aus Komplexitätsgründen nicht mitberücksichtigt wurde.

Simulationsvergleich

Tabelle 6 zeigt die Parameter welche als Vergleichskriterien für die verschiedenen Simulationen benutzt wurden.

Tabelle 6: Übersicht der Vergleichskriterien

Parameter	Einheit	Beschreibung	Systemgrenze
$JAZ_{SWP+,pen}$	-	Jahresarbeitszahl	Komplettes System
$Q_{solar,tot}$	MWh	Kollektorsertrag	Kollektorfeld ohne Rohrverluste
$W_{el,tot}$	MWh	Elektrischer Verbrauch gesamt System	Komplettes System, mit Heizungspumpe
$W_{el.Zu.Heiz}$	MWh	Elektrischer Verbrauch Zusatzheizung	Reine elektrische Zusatzheizung (Backup)

SWP+: ganzes System bilanziert nach Speicher und inklusive el. Bedarf der Heizkreis-Pumpe (SHP+ nach T44A38).

pen: inklusive Penaltys (T33A38).

Die JAZ des gesamten Systems mit Penaltys ist wie folgt definiert:

$$\text{Gl. 1} \quad JAZ_{SWP+,pen} = \frac{\int (\dot{Q}_{RH} + \dot{Q}_{WW}) \cdot dt}{\int (P_{el,SWP+} + P_{el,WW,pen} + P_{el,RH,pen}) \cdot dt}$$

mit

\dot{Q}_{RH}	Wärmeleistung an Raumheizung
\dot{Q}_{WW}	Wärmeleistung an Warmwasserbereitstellung
$P_{el,SWP+}$	Elektrische Leistung aller Komponenten (Kontroller, El. Zusatzheizung, alle Pumpen usw.)
$P_{el,WW,pen}$	Elektrische Leistung für Penalty Warmwasser
$P_{el,RH,pen}$	Elektrische Leistung für Penalty Raumheizung

Resultate

In Abbildung 4 sind die Simulationsresultate für verschiedene Klimata zusammengefasst. Alle energetischen Angaben sind in MWh angegeben.

Kollektorfeld Grössen: Referenz 10 m², Unverglast 18 m² und Belüftet 14 m².

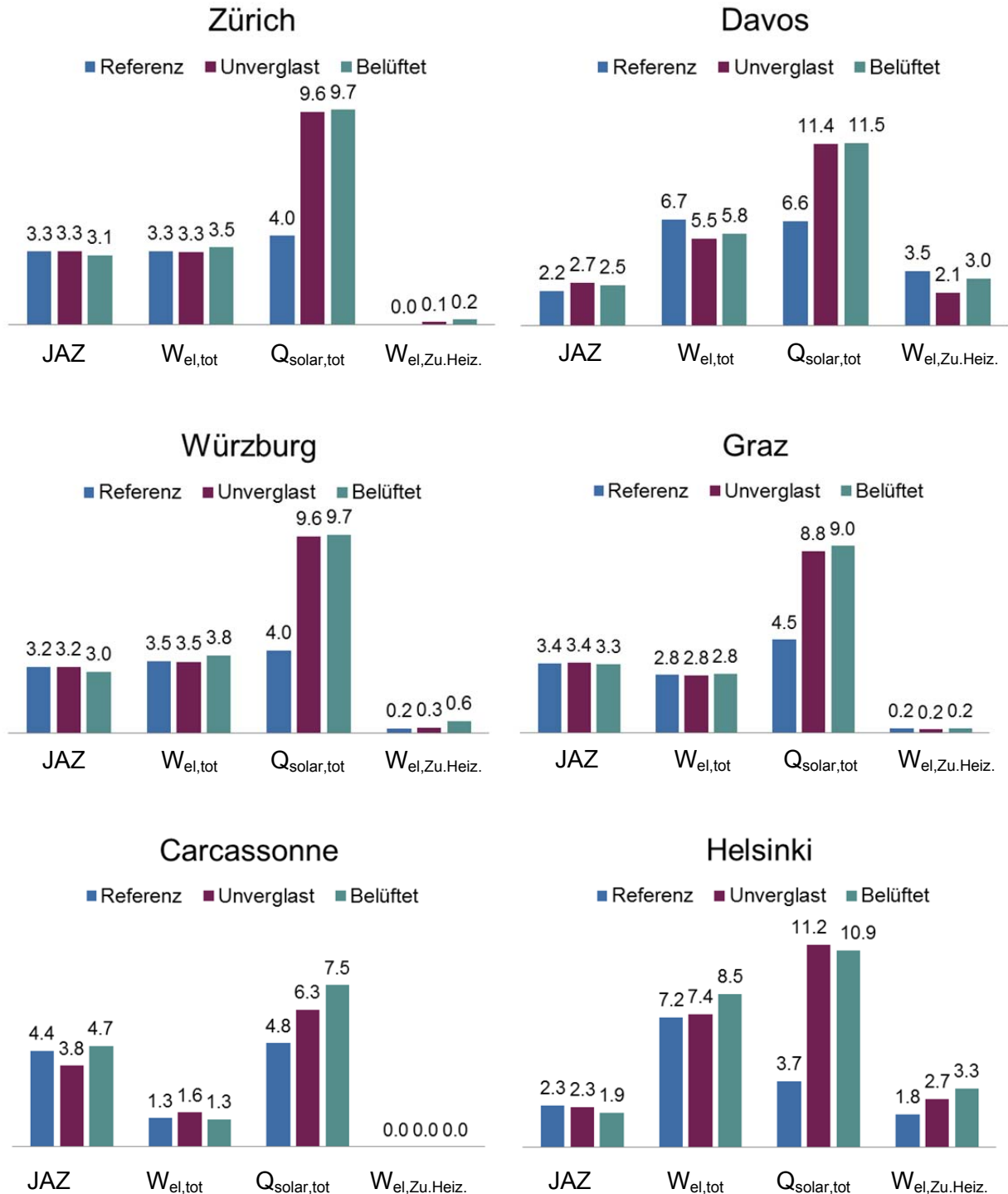


Abbildung 4: Simulationsresultate aller Standorte mit den entsprechenden Vergleichskriterien

Die Simulationen zeigen, dass der Einsatz von unverglasten Kollektoren in Kombination mit Eisspeicher und Sole/Wasser-WP für die mitteleuropäischen Klimata (Zürich, Graz, Würzburg) die gleiche JAZ erreichen wie das Referenzsystem. Interessanterweise trifft das auch für den nördlichen kalten Standort Helsinki zu. Grosse Unterschiede zwischen Referenz und unverglastem System weisen die Standorte Davos und Carcassonne auf. Für Davos ist eine Leistungssteigerung von etwa 22 % feststellbar, für Carcassonne jedoch ist die JAZ um etwa 13 % tiefer verglichen zum Referenzsystem. Das System mit den belüfteten Kollektoren zeigt für Zürich, Graz und Würzburg eine JAZ Abnahme zwischen 3 und 6 %, jedoch für Carcassonne eine Zunahme der JAZ um ca. 7 % verglichen mit dem Referenzsystem. Für die beiden kalten Standorte Helsinki und Davos zeigen die Resultate gegensätzliche Trends. Für Davos mit einer erhöhten Solarstrahlung kann zum Referenz System die JAZ um 13.5 % gesteigert werden, der Vergleich für Helsinki jedoch zeigt eine deutlich schlechtere Leistung des Systems (-17%). Klar erkennbar ist auch dass die alternativen Systeme für die meisten Standorte etwa zweimal mehr Leistung aus dem Kollektor ziehen als das Referenz System.

Die elektrische Zusatzheizung kommt in Helsinki und Davos stark zum Tragen, der Grund dafür sind die sehr tiefen Temperaturen bei welchen die WP nicht arbeiten kann, für diese Standorte wären Anpassungen an der WP nötig.

Abbildung 5 zeigt beispielhaft für das Grazer Klima die genaue Aufschlüsselung der Kollektorleistung auf die drei Systeme. Die Kollektornutzung ist deutlich höher bei den Alternativsystemen. Obwohl der belüftete Kollektor einen Gesamthaften Mehrertrag von 2 % aufweist, führt dieses Systemkonzept zu einer JAZ Reduktion von 2.9 % verglichen mit den anderen beiden Systemen. Die indirekte Nutzung des unverglasten Kollektors, sprich direkte Kopplung der WP mit den Kollektoren, ist deutlich höher als beim belüfteten Kollektor (31 %), was schlussendlich eine positive Auswirkung auf die JAZ hat.

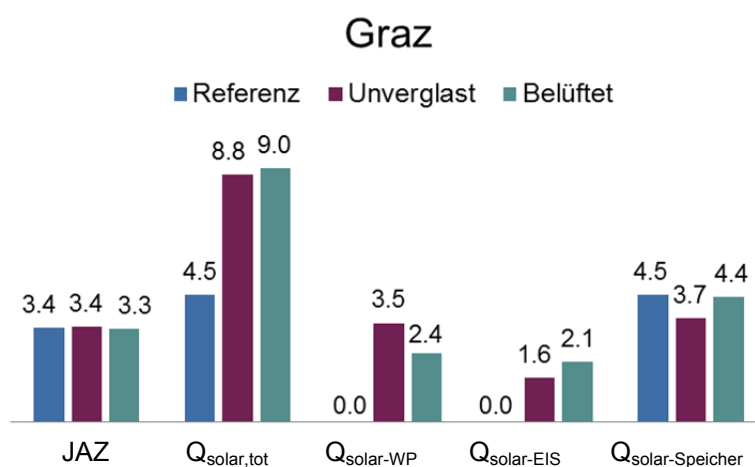


Abbildung 5: Solar Ertrag Übersicht für Graz, alle Energie Angaben in MWh

Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen die Jahresarbeitszahl abhängig von der Kollektorfeld Grösse. Dabei ist ersichtlich dass bei einem System mit unverglasten Kollektoren als Wärmequelle für die WP eine optimale Kollektorfeldgrösse bestimmt werden kann, diese Grösse ist wiederum stark von der Systemkonfiguration abhängig. Für das Referenz und das belüftete System steigt jedoch die JAZ bis zu einer Fläche von 30 m² fast linear zur Kollektorfläche.

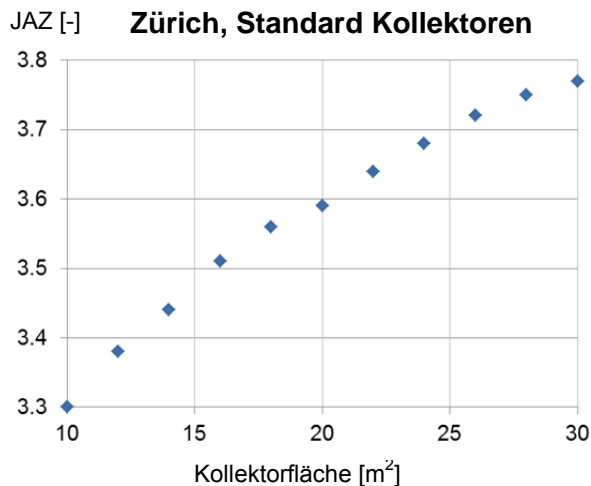


Abbildung 6: JAZ Abhängigkeit von der Kollektorfläche für die Referenz und das belüftet System

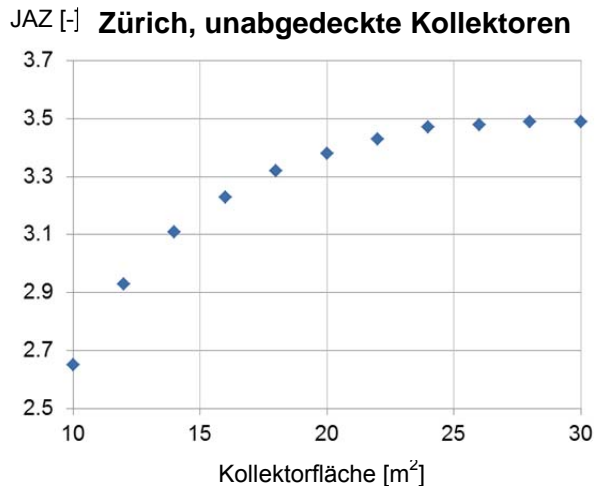


Abbildung 7: JAZ Abhängigkeit von der Kollektorfläche für das unverglaste System

Im Rahmen dieses Projektes wird ein neuer unabgedeckter selektiver Kollektor entwickelt, welcher eine Kostenreduktion von rund 22 % erbringen soll. Dabei wird jedoch von einer Selektivitäts-Verringerung ausgegangen (altes Alpha/Epsilon Verhältnis: 6.3; neues Verhältnis: 4.5).

In Abbildung 8 ist der Einfluss der Selektivität auf die gesamt Leistung eines unverglasten Solar-Wärmepumpen Systems dargestellt, dabei ist ersichtlich dass bis zu einem gewissen Alpha/Epsilon Verhältnis eine Verminderung der Selektivität vernachlässigbar ist, dies bestätigen auch Studien von Kohl [17].

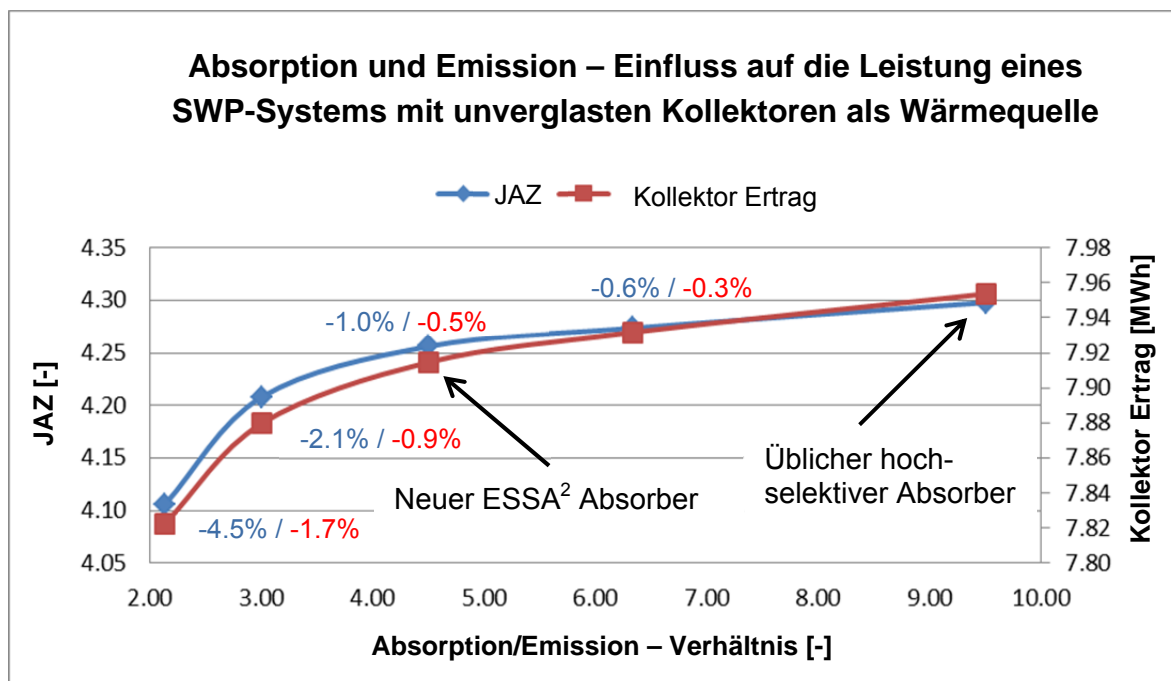


Abbildung 8: JAZ Abhängigkeit von der Kollektor Selektivität, Davos, 22m² Kollektorfläche, SFH15

Diskussion und Schlussfolgerung

Der Vergleich der drei verschiedenen Systeme zeigt, dass sie vom Standort abhängig sind. Gerade der belüftete Kollektor zeigt in diesen Simulationen nur für warme Standorte wie Carcassonne eine bessere Leistung als die Referenz. Jedoch wurde gerade dieser Kollektor sehr vereinfacht simuliert, was dazu führt dass dieses Konzept eher unterbewertet wird. Gerade der Windeinfluss der nicht miteinbezogen wird, führt wahrscheinlich zu einer Leistungsverbesserung, da durch erhöhte Windaktivität im Belüftungskanal eine Mischkonvektion entsteht, welche zu einer Erhöhung des a_1 Wertes führt. Andererseits bleibt auch bei höherer Leistungsausbeute noch offen, ob ein solches Konzept wirtschaftlich hergestellt werden kann.

Anders sieht es beim unverglasten Solar-Wärmepumpen System aus. Dieses Konzept zeigt nur für das warme Klima von Carcassonne eine schlechtere Jahresarbeitszahl als das Referenz System. Dies ist vermutlich auf den niedrigen Heizbedarf des Gebäudes an diesem Standort zurückzuführen, um dies zu bestätigen wären weitere Analysen nötig mit verschiedenen Gebäudedesigns. Für Würzburg, Graz und Zürich zeigt dieses System die gleiche Leistung wie die Referenz, beim kalten Klima wie Davos sogar eine bessere bei gleichen Kosten. Effekte wie der Selektivitätsverlust bei Kondensation [18] und auch mögliches Vereisen der Kollektorfläche sind in diesen Simulationsergebnissen nicht mit berücksichtigt. Zu diesen erwähnten Punkten wären weitere detaillierte Untersuchungen und Messungen nötig um die Auswirkung auf die Leistung des Systems genau zu bestimmen.

² ESSA = Energie Solaire S.A. (Schweizer Kollektor Hersteller in Sierre)

Dank dem neuen Design des unverglasten selektiven Kollektors, können wie schon weiter oben erwähnt die Kosten dieses Kollektors um ca. 22 % reduziert werden. Wenn diese Einsparungen in die Vergrößerung des Kollektorfeldes investiert werden, kann die Jahresarbeitszahl von unverglasten Solar-Wärmepumpen Systemen, bei gleichen Kosten wie beim Referenzsystem, deutlich gesteigert werden. Konkret bedeutet das für den Standort Zürich eine Steigerung der JAZ für das neue SWP-Unverglast System (22 m²) von 3.3 % gegenüber der Referenz. Diese neue Kollektorfläche von 22 m² entspricht auch fast dem optimalen Kollektorfeld von 24 m², welches aus der Abbildung 7 abgeleitet werden kann.

Abschliessend lassen die vorgestellten Resultate darauf schliessen, dass selektive unverglaste Kollektoren in Kombination mit Wärmepumpen, welche diese als Wärmequelle nutzen, zu einer sehr guten JAZ führen können, mit dem Vorteil dass sie im Gegensatz zu Luft/Wasser Wärmepumpen keine Geräuschemissionen verursachen. Dabei kann mit zukünftigen Neuentwicklungen der Kollektoren sogar eine bessere Leistungszahl erzielt werden als mit heute üblichen Solar-WP Systemen welche eine Luft-Wärmepumpe nutzen. Offen bleibt jedoch noch, ob dieses Systemkonzept gleich effektiv für Niedrigstenergiehäuser ist, da das Warmwasser/Heizwärme – Verhältnis zwischen den verschiedenen Gebäudedesigns stark variieren kann.

Danksagung

Die Forschungsarbeiten, die zu diesen Ergebnissen geführt haben, wurden gemäß der Finanzhilfvereinbarung Nr. 282825 "MacSheep" durch das 7. Rahmenprogramm der Europäischen Union (RP7/2007-2013) gefördert.

Bibliographie

- [1] Keller, J., Imhof, A. & Bucheli, J., 1985. *Kombinierte Nutzung von Luft und Sonne für Wärmepumpenanwendungen - EIR-Bericht (C) Nr. 3*. Eidgenössisches Institut für Reaktorforschung, Würenlingen.
- [2] Leibfried, U., Günzl, A. & Sitzmann, B., 2008. *SOLAERA: Solar-Wärmepumpesystem im Feldtest*. In: OTTI Regensburg 2008, Bad Staffelstein (Germany).
- [3] Haller, M., R. Dott, J. Ruschenburg, F. Ochs and J. Bony (2012) IEA-SHC Task 44 Subtask C technical report: *The Reference Framework for System Simulations of the IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38: Part A: General Simulation Boundary Conditions*, IEA-SHC, Paris, www.iea-shc.org/task44.
- [4] Haller, M.Y., 2012. TRNSYS Type 832 v5.00 „*Dynamic Collector Model by Bengt Perers*“ Updated Input-Output Reference. Institut für Solartechnik, Rapperswil. Schweiz.

- [5] Haller, M.Y., Carbonell, D., 2013. TRNSYS Type 1924 v202 „*Stratified Plug Flow Solar Combi-Store Model*“. Institut für Solartechnik, Rapperswil. Schweiz.
- [6] Haller, M., 2006. TRNSYS Type 805 “*DHW Heat Exchanger without Heat Losses*“. Institut für Wärmetechnik TU Graz, Austria.
- [7] Heinz, A. & Haller, M., 2012. *Appendix A3 - Description of TRNSYS Type 877 by IWT and SPF*. In: Models of Sub-Components and Validation for the IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38 - Part C: Heat Pump Models - DRAFT - A technical report of subtask C Deliverable C2.1 Part C.
- [8] Transsolar Energietechnik GmbH, *Type 56 Multizone Building modeling with Type56 and TRNBuild*, TRANSSOLAR Energietechnik GmbH, Stuttgart, Germany (2010).
- [9] Holst, S., 2010. *Type 362 Dynamic radiator model with pipes (Type 162)*, Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung e.V., München, Germany.
- [10] Bertram, E., et al., 2010. *Condensation Heat Gains on Unglazed Solar Collectors in Heat Pump Systems*. In: Proc. of the EuroSun 2010 Conference, Graz, Austria.
- [11] Lerch, W. & Heinz, A., 2012. *Solare Wärmepumpen - Kombianlagen inkl. Abwasser Wärmerückgewinnung: Energetische Bewertung durch dynamische Anlagensimulationen in TRNSYS*. In: Solar 2012, Gleisdorf (Österreich).
- [12] Haller, M., 2013. IEA-SHC Task 44 Subtask C technical report: *Intercomparison of System Simulation Results for the IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38 - Report C4.1, Draft 2*, IEA-SHC, Paris, www.iea-shc.org/task44.
- [13] Jordan, U. & Vajen, K., 2005. *DHWcalc: Program to generate domestic hot water profiles with statistical means for user defined conditions*. In: Proceedings ISES SWC 2005, Orlando (USA).
- [14] Jordan, U. & Vajen, K., 2003. 3.4 Hot Water Consumption. In: W. Weiss, Ed. *Solar Heating Systems for Houses - A Design Handbook for Solar Combisystems*. James & James, London (UK). ISBN: 1-902916-46-8.
- [15] Matuska, T. & Zmrhal, V., 2009. *KOLEKTOR 2.2 reference handbook*. Available from <http://www.fsid.cvut.cz/~matustom/kolektor.htm> (27.02.2013), CTU in Prague.
- [16] Klan, H., 2006. *Wärmeübergang durch freie Konvektion an umströmten Körpern*. VDI-Wärmeatlas. S. Fd 1. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York .ISBN: 3-540-25504-4
- [17] Kohl, M., Heck, M., Frei, U., Arntzen, M., Morales, A., Orel, B., Kaluza, L. & Versluis, R., 2000. *Solar absorber coatings for unglazed facades*. In: Proceedings of Eurosun 2000, Copenhagen (Denmark).
- [18] Philippen, D., Haller, M.Y. & Frank, E., 2011. *Einfluss der Neigung auf den äusseren konvektiven Wärmeübergang ungedeckter Absorber*. In: OTTI Regensburg 2011, Bad Staffelstein (Germany), CD.