

Schlussbericht 15. September 2014

Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen mit Sonnenkollektoren

Technologiestudie

Auftraggeber

EnergieSchweiz, 3003 Bern

Auftragnehmer

Weisskopf Partner GmbH
Albisriederstrasse 184b
8047 Zürich

Autoren

Stefan Minder
Roland Wagner, Martin Mühlebach
Thomas Weisskopf

Begleitperson

Rita Kobler, Bundesamt für Energie BFE

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt. Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

EnergieSchweiz

Bundesamt für Energie BFE; Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: 3003 Bern
Tel. 058 462 56 11, Fax 058 463 25 00; contact@bfe.admin.ch; www.energie-schweiz.ch

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
1. Einleitung	8
1.1 Ausgangslage	8
1.2 Fragestellung	9
1.3 Vorgehen	9
2. Die Eisspeicher-Solar-Wärmepumpe	10
3. Komponenten	13
3.1 Solarkollektoren/Absorber	13
3.2 Eisspeicher	16
3.3 Wärmepumpe.....	19
3.4 Wärmespeicher	19
3.5 Steuerung	19
4. Beurteilungskriterien	20
4.1 Begriffsdefinition Nutzungsgrade und Arbeitszahlen.....	20
4.2 Einfluss der Randbedingungen auf den Nutzungsgrad.....	25
4.3 Vergleichsgrösse: Arbeitszahlen anderer Wärmepumpen-Systeme.....	26
5. Komplettsysteme	26
5.1 Viessmann/Isocal.....	26
5.2 Consolar Solaera.....	33
5.3 Energie Solaire.....	40
6. Spezialanlagen	45
6.1 Pilotanlage SPF.....	45
6.2 La Cigale (Energie Solaire SA).....	49
6.3 Andere Grossanlagen	52
7. Zusammenfassung Stand der Technik	55
7.1 Klassifizierung.....	55
7.2 Eisspeicher	55
7.3 Kollektoren	56
7.4 Dimensionierung	56
7.5 Betriebsparameter/Regelung	56
7.6 Nutzungsgrade	57
7.7 Marktreife.....	58

8.	Einsatzbereich und Erfolgsfaktoren	58
9.	Empfehlungen.....	60
9.1	Einschätzung und Potenzial	60
9.2	Forschung und Entwicklung.....	60
9.3	Förderung der Akzeptanz am Markt, Marktdurchdringung	61
	Literatur	63

Zusammenfassung

Eine Eisspeicher-Wärmepumpenanlage bindet auf der Quellenseite der Wärmepumpe einen Niedertemperatur-Latentspeicher ein. Das Wasser in diesem so genannten Eisspeicher kann Umweltwärme (Solar, Luft, Erdreich) zwischenspeichern und an die Wärmepumpe abgeben. Beim Wärmeentzug durch die Wärmepumpe kann das Wasser gefrieren und damit einen grossen Teil der gespeicherten Wärme bei konstanter Temperatur abgeben. Beim Gefrieren von Wasser wird ungefähr gleich viel Wärme frei wie beim Abkühlen von 80°C auf 0°C (335 kJ/kg bzw. 93 Wh/kg). Üblich sind mit normalem Trinkwasser gefüllte Speicher mit innenliegenden, spiralförmigen Kunststoffschlauch-Wärmetauschern.

Bei den hier untersuchten Anlagentypen werden als Hauptwärmequelle und zur Regeneration des Eisspeichers Solarkollektoren oder Absorber eingesetzt. Die Kollektoren können bei tiefer Temperatur und dadurch sehr effizient betrieben werden. Durch die Verwendung von unverglasten Kollektoren oder durch aktive Belüftung wird auch Wärme von der Umgebungsluft einbezogen. Kondensation auf der Kollektoroberfläche trägt ebenfalls signifikant zum Wärmeertrag bei. Wenn verglaste und/oder selektive Kollektoren verwendet werden, kann die Solarwärme auch auf höherer Temperatur direkt für Heizung und/oder Brauchwarmwasser genutzt werden.

Eisspeicher-Wärmepumpen sind mit nur drei Anbietern von Komplettanlagen auf dem Markt und noch wenigen Gross- und Spezialanlagen noch relativ jung. In der Schweiz sind ca. 40 Anlagen der verschiedenen Anbieter in Betrieb. Die Ansätze der Anbieter unterscheiden sich hauptsächlich im verwendeten Kollektortyp, dem Aufbau und der hydraulischen Integration des Eisspeichers, der Eisspeicherkapazität und der Einbindung der Kollektorwärme:

- Das Komplettsystem von Viessmann/Isocal (D) mit Heizleistungsbereich 6-17 kW verwendet einen einfachen, unverglasten Kunststoffabsorber. Die Kapazität der ein oder zwei im Erdreich vergrabenen Eisspeicher mit 9'600 Litern Inhalt entspricht rund einer Woche Laufzeit der Wärmepumpe. Die Absorberwärme wird für die Eisspeicher-Regeneration und als direkte Quelle für den Verdampfer der Wärmepumpe genutzt.
- Das Solaera Komplettsystem von Consolar (D) mit 6.9 kW Heizleistung verwendet selektiv beschichtete, verglaste Flachkollektoren, welche zur Nutzung der Umgebungswärme mit einem Ventilator aktiv hinterlüftet sind. Der kleine 320 Liter Eisspeicher ist im Systempaket mit Wärmepumpe, Hydraulik und Regler in einem Schrank integriert und kann im Haus aufgestellt werden. Die Speicherkapazität entspricht rund 7 Stunden Laufzeit der Wärmepumpe. Die Solarwärme kann bei höherer Temperatur direkt parallel zur Heizungsunterstützung und zur Brauchwarmwasser-Erwärmung verwendet werden.
- Energie Solaire verwendet das Consolar Solaera System (Wärmepumpe, Eisspeicher, Hydraulik und Regler) mit einem unverglasten, nicht aktiv hinterlüfteten aber selektiv beschichteten Kollektor, welcher auch voll dachintegriert als Dachhautersatz eingesetzt werden kann.

Neben diesen Standardanlagen wurden bereits verschiedene Grossanlagen realisiert, wie z.B. bei La Cigale in Genf mit zwei 30 m³ Eisspeicher und 1'680 m² Kollektorfläche oder beim Firmensitz Ecolab in Monheim (D) mit 1'800 m³ Eisspeicher und ca. 550 m² Kollektorfläche.

International und in der Schweiz laufen verschiedene Forschungsaktivitäten zum Thema Solar-Wärmepumpen und Eisspeicher-Anlagen. Der IEA SHC Task 44 untersucht verschiedenste Aspekte der Kombination von Solaranlagen und Wärmepumpen. Das Institut SPF der Hochschule Rapperswil betreibt seit rund einem Jahr eine Eisspeicher-Wärmepumpen-Versuchsanlage und die FHNW führt Simulationsstudien durch und begleitet Feldanlagen, z.T. in Kooperation mit dem Anlagenanbieter Viessmann.

Detaillierte Simulationsstudien zeigen, dass Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen bei korrektem Betrieb ähnliche Jahresarbeitszahlen wie Erdsonden-Wärmepumpen erreichen sollten. Typische Werte liegen zwischen 3.5 (hohe Vorlauftemperaturen, tiefer Verbrauch) und >4 (tiefe Vorlauftemperaturen, hoher Verbrauch). Wenn, wie beim Consolar und Energie Solaire System, zusätzlich Solarwärme parallel eingebunden wird, sind noch höhere Systemnutzungsgrade bis über 5 möglich. Die Pilotanlage von SPF ist mit dem Ziel eines möglichst hohen Systemnutzungsgrades konzipiert und erreicht in Simulationen für Niedertemperaturheizungen einen Systemnutzungsgrad von 6.

Mehrere Messkampagnen an Feldanlagen sind abgeschlossen oder noch am Laufen. Die bisherigen Betriebserfahrungen und Messergebnisse bestätigen grundsätzlich, dass Jahresarbeitszahlen von korrekt ausgelegten und betriebenen Eisspeicher-Wärmepumpen mit Erdsonden-Wärmepumpen mithalten können. Allerdings ist bei einigen begleiteten Anlagen aufgefallen, dass die erwarteten Nutzungsgrade erst nach einer längeren Optimierungsphase erreicht werden konnten. Beim aktuellen, noch jungen Stand der Technik sollten daher wo möglich Gesamtanlagen aus einer Hand eingesetzt werden, damit die Komponenten, die Auslegung und die Steuerung optimal aufeinander abgestimmt sind. Ebenfalls sollte zwingend eine Betriebsoptimierungsphase vorgesehen werden, in welcher die fehlerfreie Instrumentierung und die optimale Parametrisierung der Steuerung sichergestellt werden. Unter diesen Bedingungen kann aus technologischer Sicht der Einsatz von Eisspeicher-Wärmepumpen als Alternative zu Erdsonden-Wärmepumpen empfohlen werden, wenn genügend Platz für den Eisspeicher und eine geeignete Fläche für die Kollektoren/Absorber zur Verfügung stehen. Attraktiv erscheint die Lösung besonders dort, wo keine Erdsonden gebohrt werden können.

Beim heutigen Stand der Technik besteht noch Potenzial für die weitere Steigerung des Nutzungsgrades durch Entwicklungen beim Eisspeicher, der Steuerung und der optimalen Dimensionierung und Kombination von Komponenten. Wie die SPF-Pilotanlage exemplarisch zeigt, kann auch die Forschung und Entwicklung in diesen Bereichen noch beitragen. Unabhängige Begleitung von Feldanlagen und neutrale Simulationsstudien sind beim heutigen Stand von Markt und Technik ebenfalls noch nötig und wertvoll.

Eine grössere Verbreitung der Technologie wird weitere Anbieter mit weiter entwickelten Varianten und Ansätzen auf den Markt bringen. Der Erfolg am Markt wird abhängig sein von der Preisgestaltung, der Wirtschaftlichkeit (auch im Vergleich zu Erdsonden-Wärmepumpen), der Förderungspolitik, der Zuverlässigkeit der Anlagen und der Dissemination von Know-How bei Planern und Systemanbietern.

Das Bundesamt für Energie und die Kantone können die Akzeptanz von Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen am Markt und die Verbreitung der Technologie durch folgende Massnahmen unterstützen:

- Erstellung und Verbreitung von Informationsmaterial hinsichtlich Systembeschreibung und Einsatzgebiete und -kriterien sowie Planungshilfen und Checklisten.
- Förderung von neutralen Planungs- und Simulationstools, welche die Einschätzung der Machbarkeit, die Grobauslegung und die Berechnung des erwarteten Ertrags sowie den Vergleich von Systemen in einer gegebenen Anwendung ermöglichen. Dies zum Beispiel in Form eines einfachen Berechnungstools und durch Integration der verfügbaren Systeme in Polysun und/oder ähnlichen Simulationsprogrammen.
- Begleitung, Auswertung, Dokumentation und Besichtigungsmöglichkeiten von Anlagen. Die Aufbereitung und Verbreitung kann über bestehende Kanäle erfolgen.
- Stellen von Bedingungen bei geförderten Projekten bezüglich Einsatzkriterien, Messausrüstung, Optimierungsphase und Nachweis der Anlageneffizienz.
- Allenfalls Anpassungen bei Förderkriterien, um Eisspeicher-Wärmepumpen gegenüber anderen Anlagenkonzepten nicht zu benachteiligen.

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Eisspeicher werden bereits seit Jahrzehnten als Komponenten in Kühlsystemen eingesetzt. In diesen Systemen dient der Eisspeicher als Energiespeicher, um Lastspitzen zu glätten. Die Nutzung von Eisspeichern als Wärmequelle für Wärmepumpen ist dagegen ein vergleichsweise neues Anwendungsgebiet. Bis heute sind in Europa erst einige hundert solcher Anlagen in Betrieb, davon ca. 40 Anlagen in der Schweiz. Es sind aktuell nur drei Anbieter für Eisspeicher-Wärmepumpen-Kompletanlagen auf dem Markt.

In einer Eisspeicher-Wärmepumpe-Anlage wird ein Wärmespeicher auf tiefem Temperaturniveau als Wärmequelle für die Wärmepumpe betrieben. Die hohe latente Wärme beim Einfrieren des Wassers im Speicher bewirkt, dass die Quelltemperatur für die Wärmepumpe auch bei kalten Aussentemperaturen in einem noch günstigen Bereich knapp unter dem Nullpunkt bleibt. Der Wirkungsgrad der Wärmepumpe ist deshalb bei kalten Aussentemperaturen höher als bei Luft-Wärmepumpen.

Zur Regeneration des Eisspeichers kann theoretisch eine beliebige erneuerbare Wärmequelle oder Abwärme verwendet werden. In der Praxis werden bisher Eisspeicher-Wärmepumpen Anlagen mit Solarkollektoren oder Absorbern kombiniert. Die Regeneration erfolgt je nach Konzept aus einer Kombination von Solarwärme, Aussenluft und Wärmeübertragung aus dem Erdreich um den Eisspeicher. Solarwärme und Aussenluft kann, je nach Konzept, zeitweise auch direkt im Parallelbetrieb als Wärmequelle für die Wärmepumpe dienen. Im Fall von Solarkollektoren kann die Solarwärme sogar direkt verwendet werden. Eisspeicher-Anlagen können als Alternative zu Luft-Wärmepumpen-Anlagen oder dort zum Einsatz kommen, wo Erdwärmesonden-Bohrungen nicht bewilligt werden. Der Anspruch der Technologie ist, ähnliche Jahresarbeitszahlen wie Erdsonden-Wärmepumpen zu erreichen.

Die Einbindung von Solarkollektoren in Wärmepumpenanlagen ohne Eisspeicher ist bereits länger Stand der Technik. Im Rahmen des IEA SHC Task 44 "Solar and Heat Pump Systems" (<http://task44.iea-shc.org/>) wird unter anderem untersucht, ob die Kombination von Solarthermie und Wärmepumpen generell zu einer Verbesserung der Jahresarbeitszahl JAZ von Wärmepumpen-Anlagen führt (z.B. Haller et al., 2012a). Bei dieser Untersuchung wurde festgestellt, dass bereits 130 unterschiedliche Solar-Wärmepumpen-Systeme auf dem Markt erhältlich sind. Nicht alle in der Praxis vermessenen Anlagen zeigen eine Verbesserung der JAZ gegenüber Anlagen ohne Solarkollektoren (Sparber et al., 2011; Ruschenburg und Herkel, 2013). Die korrekte Auslegung und Einbindung und ein korrekter Betrieb der Anlage sind Voraussetzung, um die theoretisch hohen Arbeitszahlen auch erreichen zu können.

Mit der Kombination von Solarkollektoren, Eisspeicher und Wärmepumpe wird die Komplexität der Anlage nochmals erhöht. Es sind noch wenig zusammenfassende, neutrale, systematische und zugängliche Informationen zum Stand der Technik dieses Anlagentyps vorhanden. Das Bundesamt für Energie (BFE) möchte daher Grundlagen schaffen und veröffentlichen, so dass optimierte Eisspeicher-Anlagen gebaut werden können und die Marktdurchdringung zuverlässiger Anlagen möglichst rasch erfolgen kann.

1.2 Fragestellung

Die vorliegende Technologiestudie soll folgende Fragen beantworten:

- Stand der Technik und Stand der Forschung: Welche Systeme sind für welche Anwendungsbereiche verfügbar? Was sind die Betriebserfahrungen? Wie vergleichen sich die Wirkungsgrade mit anderen Wärmepumpenkonzepten? Wie wird das Potenzial eingeschätzt?
- Sinnvoller und optimaler Einsatz der heute verfügbaren Systeme: Was sind die Voraussetzungen und Rahmenbedingungen für den erfolgreichen Einsatz dieser Anlagen? Auf was muss bei der Auslegung und beim Betrieb besonders geachtet werden? Welche Fehler gilt es zu vermeiden?
- Weiterentwicklung, Potenzial der Technologie: Welche Entwicklungen sind vielversprechend? Was kann technologieeitig optimiert werden? Gibt es Forschungs- und P&D Bedarf?
- Wie kann die Verbreitung gefördert werden: Falls die Technologie marktreif ist, ein sinnvoller Einsatzbereich erkannt ist und ein bedeutendes Potenzial besteht, wie kann das BFE die Verbreitung fördern?

Die Technologiestudie soll dem BFE ermöglichen, Information an Bauherren, Bewilligungs- und Förderbehörden bezüglich des Einsatzes von Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen zu erstellen.

Auf Fragen zu Kosten und Wirtschaftlichkeit wird in dieser Studie nicht eingegangen. Ebenfalls beschränkt sich die Studie auf Anlagenkonzepte, in welchen der Eisspeicher mit Solar- oder Solar-Luft-Kollektoren regeneriert wird und auf die Anwendung zur Wärmeerzeugung. Die ebenfalls mögliche Kälteerzeugung zur Klimatisierung wird nicht genauer betrachtet.

1.3 Vorgehen

Mit einer Literaturrecherche wurde ein Überblick über den internationalen Stand der Kenntnisse zur Technologie gewonnen. In Workshops und Interviews mit einer Begleitgruppe aus Anbieter, Anwender und Forschung wurde der Stand der Kenntnisse und der Anwendungen in der Schweiz diskutiert. Anlagenbeispiele wurden besichtigt und bestehende bzw. laufende Auswertungen von bestehenden Anlagen beigezogen.

Aus Literatur, Forschung, Praxiserfahrungen und Auswertungen wurden schliesslich die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst und eine Bewertung, sowie Empfehlungen formuliert.

Die folgenden Know-How Träger haben in der Begleitgruppe oder in Interviews zu dieser Studie beigetragen:

Forschung

- Prof. Thomas Afjei, Fachhochschule Nordwestschweiz
- Daniel Philippen, Institut für Solartechnik SPF, HSR

Anbieter Eisspeicher-Wärmepumpen

- Elmar Frenken, Viessmann Wärmepumpen GmbH
- Daniel Tanner, Viessmann Schweiz AG
- Dr. Ulrich Leibfried, Consolar AG
- Bernard Thissen, Energie Solaire SA

Planer und Berater

- Christoph Schings, Alteno AG
- Urs Renggli, Alteno AG
- Michael Kriegers, Meierhans + Partner AG

Bauherr

- Pascal Leumann, ewz Energiedienstleistungen

Anbieter Simulationssoftware

- Andreas Witzig, Vela Solaris AG

2. Die Eisspeicher-Solar-Wärmepumpe

Eine Eisspeicher-Wärmepumpe ist grundsätzlich eine Wärmepumpen-Anlage, welche auf der Quellenseite einen Niedertemperatur-Latentspeicher einbindet, also einen Speicher, in welchem Wasser gefrieren und damit bei konstanter Temperatur viel Wärme speichern kann. Die Hauptkomponenten sind eine Sole/Wasser-Wärmepumpe, ein Eisspeicher, Solarkollektoren oder Absorber und ein Wärmespeicher. In dieser Studie werden nur Anwendungen für Raumheizung und Brauchwarmwasser-Erwärmung (BWW) betrachtet und der Schwerpunkt auf monovalente Anwendungen gelegt. Nicht einbezogen werden Anwendungen zur Kühlung im Sommer, zur Schwimmbaderwärmung, etc. Als Wärmequelle kann, je nach Konzept, Solarwärme, Aussenluft und Erdwärme, einzeln oder in Kombination genutzt werden. Verschiedene Betriebsweisen und Kombinationen der Wärmequellen, Eisspeicher und Wärmepumpe sind möglich. In der Abbildung 1 ist die Kombination aller möglichen Quellen und Betriebsweisen in einem allgemeinen Schema gezeigt.

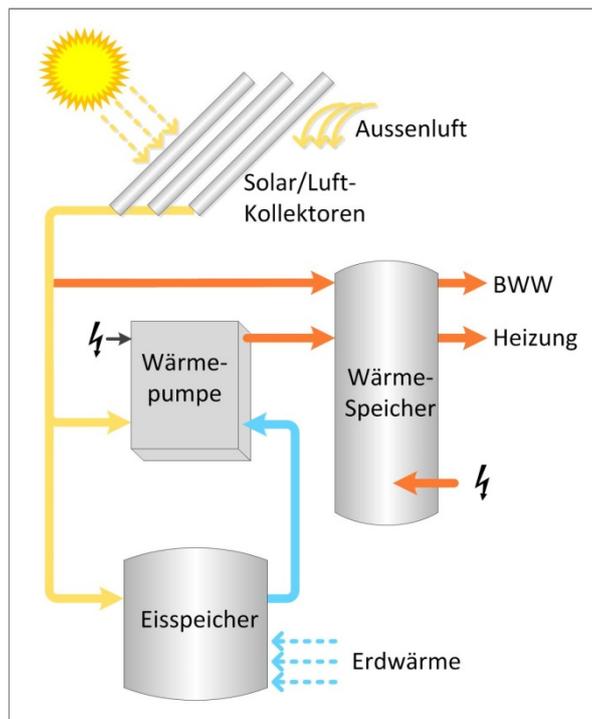


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Energieströme, Wärmequellen und Komponenten einer Eisspeicher-Solar-Wärmepumpe

Im Rahmen des IEA SHC Task 44 wurde eine schematische Repräsentation von Solar/Wärmepumpen-Systemen entwickelt, mit welcher alle möglichen Komponenten, Wärmequellen, Verbraucher und Energieströme dargestellt werden können. Abbildung 2 zeigt die gleichen Komponenten und Energieströme wie Abbildung 1, jedoch im IEA SHC Task 44 Format. Beide Darstellungsweisen werden im vorliegenden Bericht, je nach Zweckmässigkeit, verwendet.

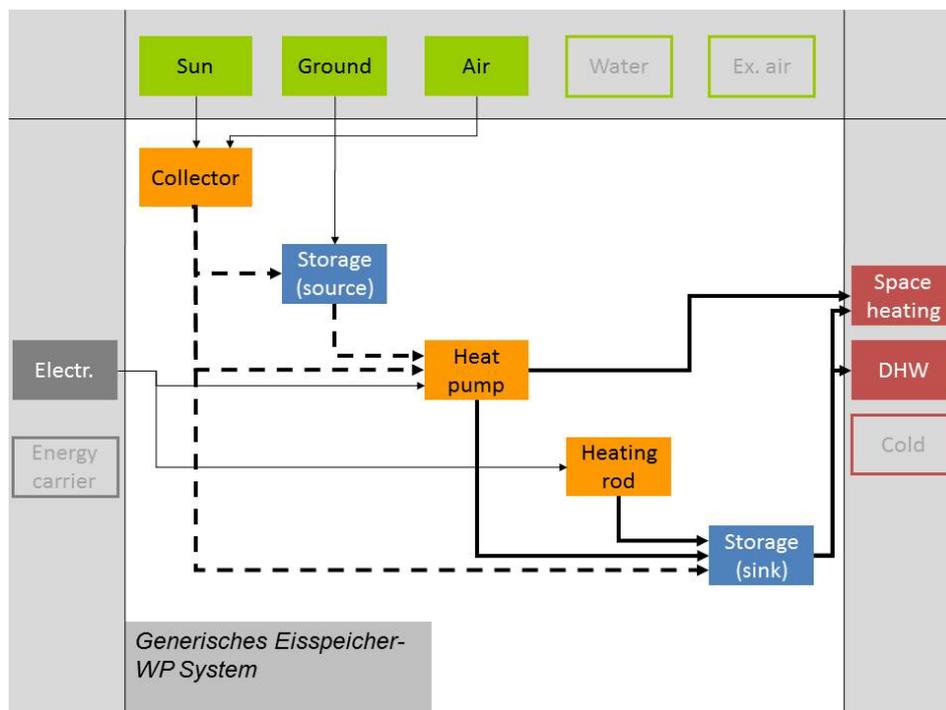
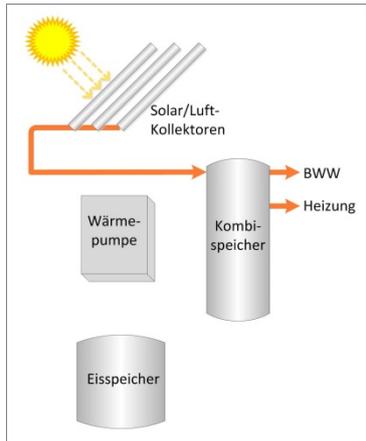


Abbildung 2: IEA SHC Task 44 Repräsentation einer Eisspeicher-Solar-Wärmepumpe (ohne Hilfsbetriebe)

Die typischen Betriebsweisen eines solchen, allgemeinen Systems sind im Folgenden dargestellt.

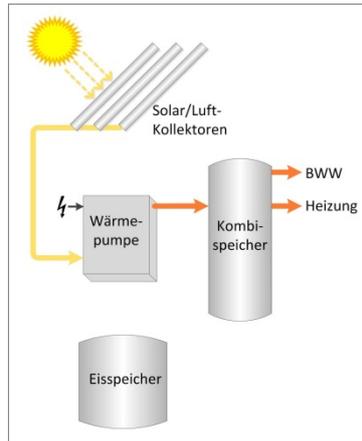
Bei ausreichend hoher Solarstrahlung (inkl. Diffusstrahlung)

Direkte Nutzung der Solarwärme für die Ladung des Speichers



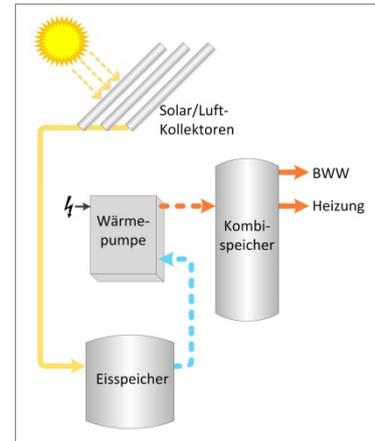
Wann: Bei genügend hoher Kollektor-Austrittstemperatur und nicht komplett geladenem Kombispeicher

Direkte Nutzung der Solarwärme als Quelle für die Wärmepumpe (Verdampfer)



Wann: Bei passender Austrittstemperatur aus dem Kollektor-kreis

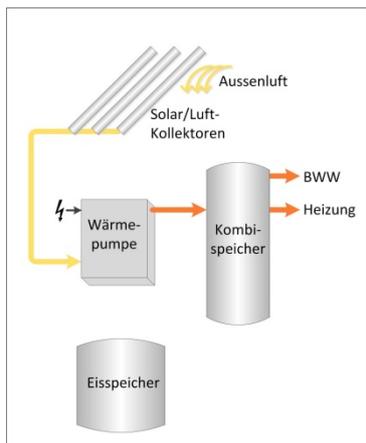
Ladung oder Regeneration des Eisspeichers, mit oder ohne Wärmebezug der Wärmepumpe



Wann: Bei solarem Wärmeüberschuss (Wärmebedarf geringer als Solareintrag)

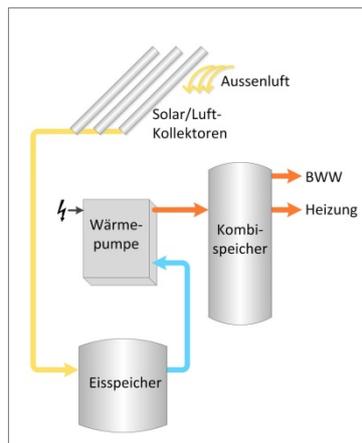
Bei geringem oder fehlendem Solareintrag und nutzbarer Aussenlufttemperatur

Direkte Nutzung der Aussenluft als Quelle für die Wärmepumpe (Verdampfer)



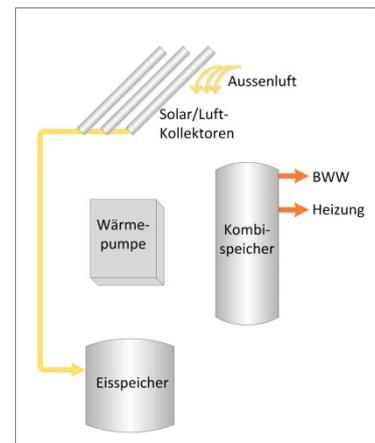
Wann: Wenn Temperatur vom Luftkollektor über Eisspeichertemperatur

Ladung des Eisspeichers bei gleichzeitigem Entzug durch die Wärmepumpe



Wann: Wenn Temperatur vom Luftkollektor über Eisspeichertemperatur

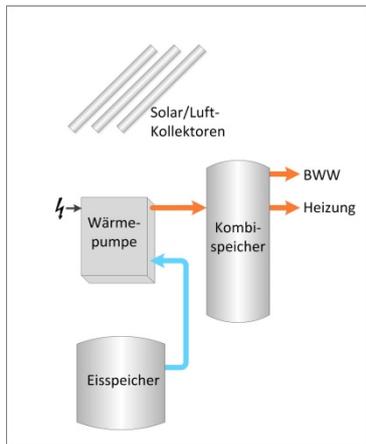
Ladung oder Regeneration des Eisspeichers



Wann: Wenn Temperatur Aussenluft über Eisspeichertemperatur und gestoppter Wärmepumpe

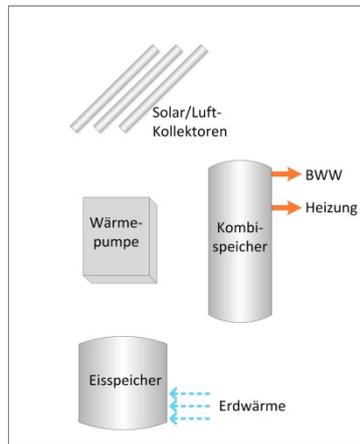
Bei fehlendem Solareintrag und tiefer Aussentemperatur

Wärmebezug aus Eisspeicher



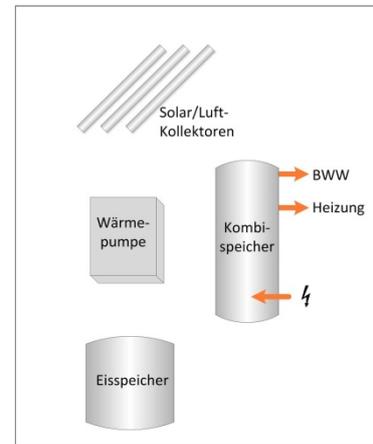
Wann: Bei ausreichender Temperatur im Eisspeicher bzw. noch nicht voll gefrorenem Eisspeicher

Regeneration des Eisspeichers mit Erdwärme



Wann: Bei Eisspeichertemperatur unter Erdtemperatur

Bedarfsdeckung mit Elektro-einsatz



Wann: Bei zu tiefer Eisspeichertemperatur und Wärmebedarf auf Verbraucherseite

Weitere, gemischte Betriebsweisen sind möglich. Nur mit relativ komplexer Hydraulik und Regelung kann das theoretische Optimum aus allen Kombinationen von Wärmequellen und Komponenten herausgeholt werden. In der Praxis (im Betrieb stehende und auf dem Markt erhältliche Anlagen) werden darum meist nicht alle Möglichkeiten genutzt, sondern ein praxistauglicher Kompromiss aus maximaler Effizienz, Einfachheit und Kosten gesucht. Dabei können verschiedene Wege gegangen werden, wie weiter unten in den Kapiteln 5 und 6 ersichtlich wird.

Verschiedene Typen von Kollektoren und von Eisspeichern können eingesetzt werden. Die Komponenten einer Eisspeicher-Solar-Wärmepumpe werden in Kapitel 3 genauer beschrieben.

Die Dimensionierung der verschiedenen Komponenten im Verhältnis zueinander und im Verhältnis zum Wärmeverbrauch ist ebenfalls zentral. Die Fläche der Kollektoren, die Kapazität des Eisspeichers und die Leistung der Wärmepumpe sind Variablen, welche für optimales Funktionieren aufeinander abgestimmt sein müssen. Die Anbieter und Anlagenbauer verfolgen dabei zum Teil ebenfalls verschiedene Ansätze, wie in den Kapiteln 5 und 6 gezeigt wird.

3. Komponenten

3.1 Solarkollektoren/Absorber

Thermische Solarkollektoren haben alle die Eigenschaft, dass ihr Wirkungsgrad bei zunehmender Kollektortemperatur sinkt, da die Wärmeverluste vom Kollektor an die Umgebung mit zunehmender Temperatur steigen. Der solare Wirkungsgrad ist zudem Abhängig von der Intensität der Sonnenstrahlung. Je höher die Strahlung, desto besser ist der Wirkungsgrad. Der solare Wirkungsgrad von thermischen Kollektoren wird darum typischerweise in Kurven, in Abhängigkeit dieser Temperaturdifferenz und Sonnenstrah-

lung dargestellt. Um bei höheren Kollektortemperaturen gute Wirkungsgrade erzielen zu können, kann der Wärmeverlust durch verschiedene Massnahmen verringert werden. Je höher die Temperatur und je höher der gewünschte Wirkungsgrad, desto aufwändiger und teurer wird dabei der Kollektor. Tabelle 1 zeigt die gängigen Kollektortypen mit typischem Temperaturbereich und Einsatzbereich.

Kollektortyp	Typischer Temperaturbereich	Typischer Einsatzbereich
Unverglaster Kunststoffkollektor ("Schwimmbadkollektor")	20-30°C	Schwimmbäder
Unverglaster Kollektor mit selektiver Beschichtung	20-50°C	BWW-Vorwärmung Heizungsunterstützung
Verglaster, selektiver Flachkollektor	30-70°C	BWW Heizungsunterstützung
Hocheffizienter Flachkollektor mit Doppelverglasung, IR-Folie o.ä.	70-100°C	BWW Prozesswärme
Vakuumröhrenkollektor	50-120°C (Maximaltemperatur je nach Qualität und Ausführung)	BWW Heizungsunterstützung Prozesswärme

Tabelle 1: Kollektortypen mit typischen Temperaturbereichen und Einsatzbereichen

Abbildung 3 zeigt typische Wirkungsgradkurven für die hier relevanten drei Kollektortypen "unverglast", "unverglast selektiv" und "verglast selektiv".

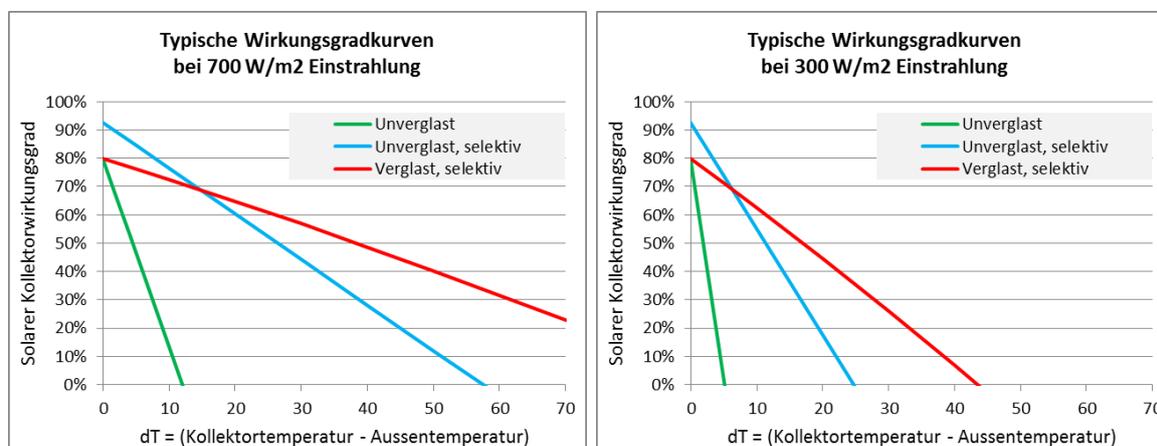


Abbildung 3: Typische Wirkungsgradkurven von Solarkollektoren bei 700 W/m^2 (links) und 300 W/m^2 (rechts) solarer Einstrahlung

Beim Einsatz von Solarkollektoren als Wärmequelle für Wärmepumpen wird der Kollektor auf tiefer Temperatur gefahren. Dadurch können im Prinzip einfache und günstige Kollektoren mit in diesem Bereich trotzdem sehr guten Wirkungsgraden verwendet werden. Auch schwache Solarstrahlung und Diffusstrahlung können genutzt werden. Zusätzlich kann in Hybridkollektoren und mit unabgedeckten Kollektoren bzw. Absorbern auch die Umgebungswärme konvektiv genutzt werden. Der Kollektor wird dann zum Luft/Sole-Wärmetauscher. Bei Kollektortemperaturen unter der Aussentemperatur (z.B. nachts) kann bei Kondensation auf der Kollektoroberfläche die Kondensationswärme genutzt werden, im Winter sogar Vereisungswärme. Da in Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen ein grosser Teil der Wärme bei tiefer Temperatur von der Umgebungsluft bezogen wer-

den kann, ist neben dem solaren Wirkungsgrad auch die Effizienz der Nutzung der Umgebungs- und Kondensationswärme wichtig, je nach Konzept sogar wichtiger. Eine gute Effizienz kann z.B. durch aktive Belüftung erreicht werden (Erhöhung der Konvektion), oder durch Erhöhung der Oberfläche des Kollektors (Wärmetauscherfläche).

Aus dem zeitweisen Betrieb unter dem Taupunkt mit Kondensation und Vereisung auf dem Kollektor folgen besondere Anforderungen an die Qualität bzw. die Dichtigkeit der Kollektoren.

Verschiedene Ansätze sind in Kombination mit Eisspeicher-Wärmepumpen möglich, mit jeweils eigenen Vor- und Nachteilen. Als Beispiel sind in Tabelle 2 drei unterschiedliche Kollektortypen dargestellt, welche sinnvoll in Kombination mit Eisspeicher-Wärmepumpe eingesetzt werden können. Dies sind auch die drei Kollektorvarianten, welche von den drei aktuellen Anbietern von Eisspeicher-Wärmepumpen-Gesamtsystemen verwendet werden (siehe Kapitel 5). Im Prinzip können auch normale, verglaste Kollektoren eingesetzt werden. Diese müssen aber hermetisch dicht gegenüber der Umgebungsluft sein, um Feuchteansammlung im Kollektor bei Betrieb unter dem Taupunkt zu vermeiden. Ebenfalls nutzen solche Kollektoren die Wärme der Umgebungsluft kaum.

Kollektortyp	Einbindung in Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlage	Vorteile/Nachteile
Unverglaster Kunststoffkollektor, "Schwimmbadkollektor"; z.B. Viessmann SLK-S	Kann nur auf tiefer Temperatur betrieben werden. Passive Nutzung der Umgebungswärme. Wärme und Kondensationswärme. Anwendung: <ul style="list-style-type: none"> • Regeneration des Eisspeichers • Direkte Wärmequelle für die Wärmepumpe 	+Einfache, günstige, robuste Konstruktion +Guter Wirkungsgrad bei Wärmepumpen-Verdampfer typischen tiefen Temperaturen - Kann nicht direkt für Heizung und Warmwasser verwendet werden - Bei Schneebedeckung stark beeinträchtigter Ertrag (Solar und Luft)
Unverglaster Kollektor mit selektiver Beschichtung; z.B. Energie Solaire AS	Kann auf tiefer bis mittlerer Temperatur betrieben werden. Passive Nutzung der Umgebungswärme. Wärme kann genutzt werden für: <ul style="list-style-type: none"> • Regeneration des Eisspeichers • Direkte Wärmequelle für die Wärmepumpe • Direkte Wärmequelle für Heizungsunterstützung 	+Bessere solare Wirkungsgrade als Schwimmbadkollektor +Bei starker Sonnenstrahlung ist Wärme auch direkt für Heizungsunterstützung nutzbar +Abtaufunktion für Schneebefreiung möglich



Verglaster, selektiver Flachkollektor mit aktiver Hinterlüftung (Ventilator); z.B. Consolar Solaera Hybridkollektor



Kann von tiefen bis BWW-Temperaturen eingesetzt werden:

- Regeneration des Eisspeichers
- Direkte Wärmequelle für die Wärmepumpe
- Direkte Wärmequelle für Heizungsunterstützung
- Direkte BWW-Erwärmung

+Kann am vielseitigsten eingesetzt werden, effizient in allen Temperaturbereichen, inkl. direkter BWW-Erwärmung

+Bei entsprechender Konstruktion auch bei Schneebedeckung noch Ertrag durch Hinterlüftung

- Vergleichsweise komplex, mit beweglichen Teilen (Ventilator)

Tabelle 2: Verschiedene Kollektortypen können in Verbindung mit Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen effizient eingesetzt werden

3.2 Eisspeicher

Der Begriff "Eisspeicher" ist im Zusammenhang mit Eisspeicher-Wärmepumpen ein populärer Name für einen Latentwärmespeicher mit Wasser als Speichermedium. "Latentwärmespeicher" bedeutet, dass die beim Phasenübergang von Eis zu Wasser absorbierte und von Wasser zu Eis freigegebene Energie (die Latentwärme) als Speicher genutzt wird. Dadurch kann mit einer kleinen Temperaturdifferenz eine grosse Menge Wärme gespeichert werden. Im Fall vom Eisspeicher findet der Phasenwechsel bei 0°C statt. Das komplette Schmelzen von 1 kg Wasser benötigt bei gleichbleibender Temperatur gleich viel Wärme, wie das Aufheizen von 1 kg Wasser von 0°C auf 80°C. Diese sogenannte Schmelzenthalpie oder Schmelzwärme beträgt bei Wasser 335 kJ/kg bzw. 93 Wh/kg. Abbildung 4 zeigt ein schematisches Temperatur/Enthalpie-Diagramm mit dem Phasenübergang Eis-Wasser, Aufheizung auf 100°C und Wasser-Dampf.

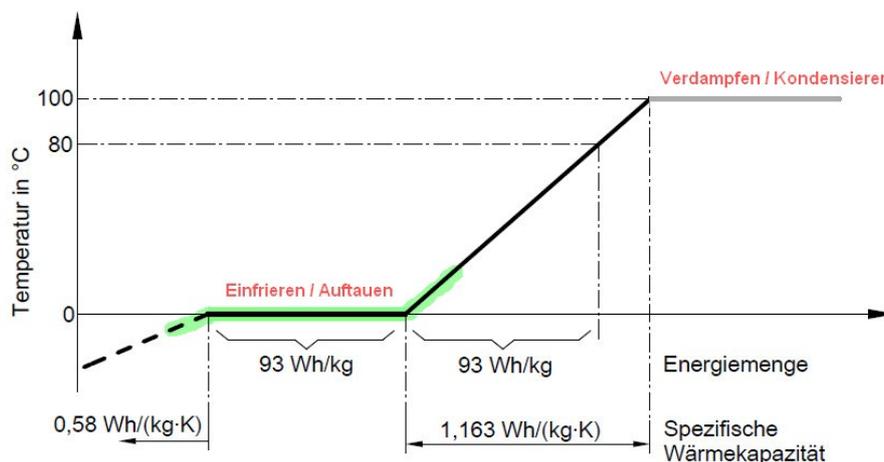


Abbildung 4: Phasenwechsel im Eisspeicher (Bild: Viessmann, verändert); grün markiert der Arbeitsbereich eines Eisspeichers in einer Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlage

Eisspeicher werden im Einsatz mit Wärmepumpen nicht nur als Latentspeicher genutzt, sondern auch im Temperaturbereich oberhalb 0°C als sensible Wärmespeicher. Das heisst, der Speicher wird bei Verfügbarkeit von Wärme (Solar, Luft) nach der kompletten Aufschmelzung weiter aufgewärmt, bis auf eine Maximaltemperatur, welche von der Wärmepumpe noch genutzt werden kann (typischerweise um die 25°C). Je nach Ausle-

gung und Betrieb des Eisspeichers in der Anlage kann dieser sensible Teil der Wärmespeicherung einen bedeutenden Anteil an der gesamten Speicherkapazität ausmachen.

Der Eisspeicher wird über innenliegende Wärmetauscher be- und entladen. In Philippen et al. (2012b) wird der Wärmeübergangskoeffizient verschiedener Wärmetauscher verglichen (Abbildung 5).

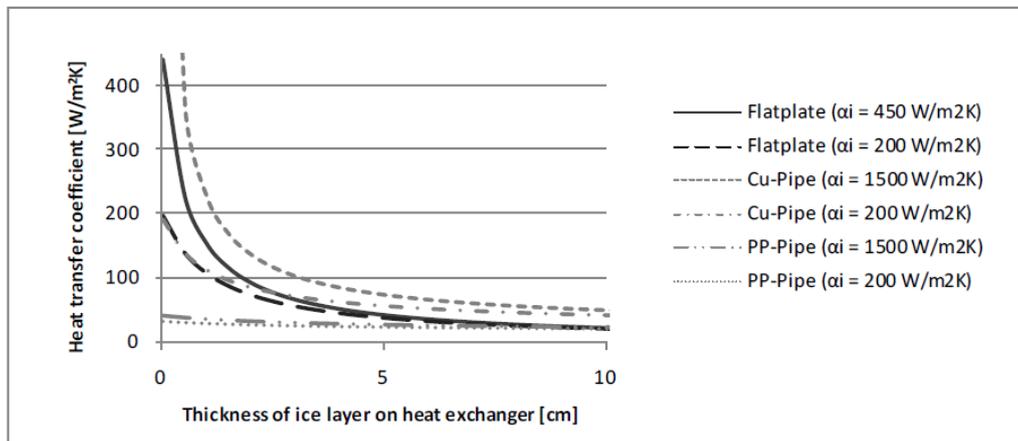


Abbildung 5: Wärmedurchgangskoeffizient in Abhängigkeit der Eisschicht, Wärmetauschermaterial und konvektivem Wärmeübergangskoeffizienten. "Flatplate": Plattenwärmetauscher aus Edelstahl mit 0.6 mm Wandstärke; "Cu-Pipe": Kupferrohr (Innendurchmesser 50 mm) mit Wandstärke 1 mm; "PP-Pipe": Polyethylen-Rohr (Innendurchmesser 50 mm), 5 mm Wandstärke; Philippen et al., 2012b

Polyethylen-Rohrbündelwärmetauscher besitzen im Vergleich mit Kupferrohr-Wärmetauschern und Plattenwärmetauschern die schlechtesten Wärmeübergangskoeffizienten. Neben der ungünstigen Wärmeleitfähigkeit von PE sind wegen den schlechteren mechanischen Eigenschaften auch die Wandstärken höher.

Wenn die Temperatur im Wärmetauscher auf 0°C gesunken ist und weiter Energie entzogen wird, startet der Gefrierprozess auf der Wärmetauscher-Oberfläche. Während des Gefriervorgangs wächst die Eisschicht auf der Wärmetauscher-Oberfläche und beeinflusst den Wärmeübergangskoeffizienten. (Abbildung 6).



Abbildung 6: Eisbildung um die Wärmetauscherrohre eines Rohrbündelwärmetauschers (Viessmann, 2012)

Als Folge nehmen die Wärmeträger-Temperaturen und der COP-Wert der Wärmepumpe bei gleichbleibender Eisspeicher-Temperatur und Entzugsleistung während des Gefriervorgangs ab.

Der thermische Widerstand kann daher unter anderen durch folgende Massnahmen minimiert werden:

- Bei Verwendung von PE-Rohren die Wandstärken optimieren (vor allem Relevant bei häufigem Betrieb über 0°C)
- Dicke des Eismantels am Wärmetaucher minimieren durch Erhöhung der Wärmetauscherfläche
- Erzwungenes Entfernen des Eises von der Wärmetauscheroberfläche (de-icing/Enteisung) (Philippen et al., 2012b)

Verschiedene Bauarten von Eisspeichern sind möglich und auf dem Markt. Drei in der Kältetechnik gängige Systeme sind im Folgenden kurz beschrieben.

Direktverdampfersysteme

Der Verdampfer der Wärmepumpe/ Kältemaschine wird direkt in den Eisspeicher geführt. Durch Einblasen von Luft am Tankboden oder durch Umwälzung wird sichergestellt, dass das Eiswachstum an der Wärmetauscheroberfläche gleichmässig erfolgt.

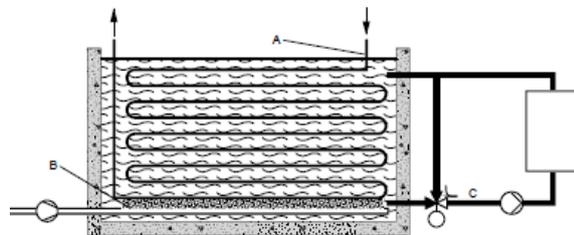


Abbildung 7: Direktverdampfersystem (A: Direktverdampfer mit Kältemittel; B: Lufteinperlung; C: Kühlwasserkreis; Bild: www.siemens.de)

Eisspeicher mit wassergefüllten Kunststoffkugeln

Der Eisspeicher enthält elastische, wassergefüllte Kunststoffkugeln (Volumenanteil 50%-70% im Tank) und ist über einen Solekreis mit dem Verdampfer verbunden.

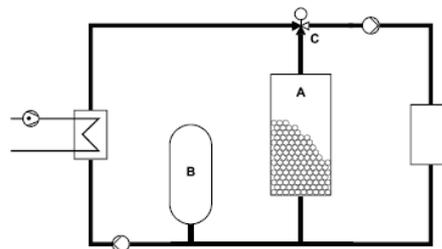


Abbildung 8: Eisspeicher mit Kunststoffkugeln (A: Eisspeicher; B: Ausdehnungsgefäss; C: Umstellventil; Bild: www.siemens.de)

Eisspeicher mit spiralförmig angeordneten Wärmetauscherrohren

Der mit dem Verdampfer verbundene Solekreis besteht aus spiralförmig aufgewickelten PE-Rohren. Die PE-Rohre können den Speicher vollständig ausfüllen, um eine grosse Wärmetauscherflächen zu erreichen.

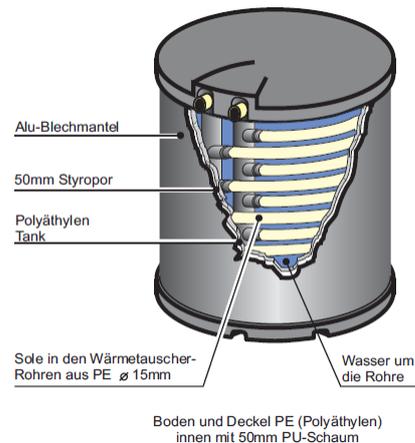


Abbildung 9: Eisspeicher mit spiralförmig angeordneten Wärmetauscherrohren (Bild: GfKK, Gesellschaft für Kältetechnik-Klimatechnik mbH)

In Kombination mit Wärmepumpen und als Gesamtsystem ist heute allerdings nur die Bauart mit Spiralwärmetauscher im Eisspeichervolumen und Sole als Wärmeträger kommerziell erhältlich (siehe auch Kapitel 5).

3.3 Wärmepumpe

In Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen kommen Wärmepumpen mit Sole-Kreislauf zum Einsatz. Da die Quellentemperatur je nach Betriebsweise und Saison/Wetter stark variieren kann (typisch ist z.B. -10°C bis $+25^{\circ}\text{C}$), müssen Wärmepumpen eingesetzt werden, welche auch bei unterschiedlichen Wärmespreizungen effizient laufen. In diesem Aspekt sind die Anforderungen ähnlich wie bei Luft/Wasser-Wärmepumpen. Der Betriebsbereich des Wärmepumpen-Verdampfers und die Maximaltemperatur des Eisspeichers müssen aufeinander abgestimmt sein oder die Eintrittstemperatur zum Verdampfer durch ein Mischventil geregelt werden.

3.4 Wärmespeicher

Die wärmeseitige Speicherung ermöglicht die Optimierung der Laufzeiten der Wärmepumpe (z.B. Sperrzeiten) und die Deckung von Lastspitzen. Ebenfalls kann in Perioden von zu tiefer Quellentemperatur (entladener Eisspeicher, tiefe Aussentemperaturen, keine Sonne) die Zuschaltung der Zusatzheizung (Elektroheizstab) verzögert oder gar vermieden werden. Der Wärmespeicher muss nicht speziell an Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen angepasst werden. Standardprodukte kommen zum Einsatz.

3.5 Steuerung

Das Management der Wärmequellen ist zentral für den effizienten Betrieb einer Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlage: Unter welchen Bedingungen wird auf welche der in Kapitel 2 beschriebenen Betriebsweisen umgeschaltet? Zweckmässige und zuverlässige Instrumentierung, intelligente Regelalgorithmen und gewissenhaftes Einregeln und Parameter setzen während der Inbetriebnahme sind gefordert.

4. Beurteilungskriterien

Die Einordnung und Beurteilung von Eisspeicher-Wärmepumpenanlagen muss unter verschiedenen Blickwinkeln erfolgen:

- Beurteilung des Potenzials von Solar/Luft regenerierten Eisspeichern im Vergleich zu anderen Wärmepumpen-Lösungen, insbesondere Erdsonden-Wärmepumpen, Luft/Wasser-Wärmepumpen und rein solar unterstützten Wärmepumpen
- Beurteilung der verfügbaren Systeme im Vergleich zu anderen, konventionellen verfügbaren Wärmepumpen-Systemen
- Vergleich der verfügbaren Lösungen untereinander mit Vorteilen, Nachteilen und Einsatzbereichen

Wie bereits erwähnt wird dabei in dieser Studie die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ausgeklammert. Die primären, technischen Beurteilungskriterien sind:

- Der Nutzungsgrad, bzw. die Arbeitszahl der Anlage, je nach Betrachtung die Jahresarbeitszahl (JAZ), der Wärmeerzeugernutzungsgrad (WNG) oder der Systemnutzungsgrad (SNG). Die Nomenklatur, die Systemgrenzen und die Berechnung für die verschiedenen Wirkungsgradbetrachtungen sind in Kapitel 4.1 beschrieben.
- Der Stromverbrauch für die elektrische Zusatzheizung (z.B. Elektroheizstab). Dieser ist zwar im Systemnutzungsgrad enthalten, ein separates Ausweisen ist jedoch sinnvoll, da Elektrodirektheizung nach Möglichkeit minimiert werden soll.
- Die Zuverlässigkeit, der Unterhaltsaufwand und die Komplexität der Anlage
- Die Lebensdauer

Sekundäre Beurteilungskriterien können u.a. der solare Deckungsgrad, die Graue Energie oder der Primärenergiebedarf sein. Solche weiteren Beurteilungskriterien werden in diesem Bericht aber nicht behandelt.

4.1 Begriffsdefinition Nutzungsgrade und Arbeitszahlen

Die Begriffe Nutzungsgrad und Arbeitszahl werden synonym verwendet. Sie bezeichnen in einem Wärmeerzeuger das Verhältnis von erzeugter Wärmemenge zur aufgewendeten Endenergie über eine definierte Periode. Die Bezugsperiode sollte mit angegeben werden. So bezieht sich zum Beispiel ein Jahresnutzungsgrad oder eine Jahresarbeitszahl auf ein Jahr. Bei fehlender Angabe ist in den meisten Fällen implizit ein Jahr als Bezugsperiode gemeint.

Bei einer kompletten Wärmebilanz ist der Nutzungsgrad immer kleiner eins. Wegen den Umwandlungsverlusten und Wärmeverlusten ist die Nutzenergie immer kleiner als die aufgewendete Endenergie. Im Fall von Wärmepumpen wird die Umweltenergie allerdings, da frei verfügbar, üblicherweise nicht eingerechnet. Als aufgewendete Energie wird in der Berechnung des Nutzungsgrads nur der Elektrizitätsaufwand berücksichtigt. Die Nutzungsgrade sind daher meist grösser als eins.

Der Nutzungsgrad (bzw. die Arbeitszahl) bezieht sich immer auf bestimmte Systemgrenzen. Ein Nutzungsgrad ist daher nur aussagekräftig, wenn klar ist, auf welche Systemgrenzen er sich bezieht:

- Welche elektrischen Energieaufwände werden mit eingerechnet (z.B. Hilfsbetriebe, Elektroheizstab, etc.)?

- Wo wird die erzeugte Wärmeenergie gemessen? Von der Wärmepumpe erzeugte Wärme, dem Speicher entnommene Wärme oder Wärme beim Verbraucher?

Für die verschiedenen Systemgrenzen werden in der Praxis zwar verschiedene Bezeichnungen verwendet, es sind aber unterschiedliche Bezeichnungen für die gleichen Systemgrenzen geläufig und diese werden nicht immer konsistent angewendet. Im IEA SHC Task 44 wurden, unter anderem aus diesem Grund, sinnvolle und konsistente Definitionen von Nutzungsgraden und Systemgrenzen erarbeitet und zur Anwendung empfohlen (Malenkovic et al., 2012). Damit soll erreicht werden, dass Systeme und Anlagen anhand konsistenter Indikatoren verglichen werden. Im Folgenden werden die geläufigsten Systemgrenzen und Bezeichnungen von Nutzungsgrade aufgeführt, die Bedeutung definiert und schliesslich die Relevanz der verschiedenen Nutzungsgrade für die Bewertung und den Vergleich von Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen erklärt.

IEA SHC Task 44	Gängige Bezeichnungen (<u>unterstrichen</u> = im Bericht verwendet)	Beschrieb, Anwendung
COP Coefficient of Performance	<u>COP</u> Coefficient of Performance	Güte der Wärmepumpe: Wirkungsgrad der Wärmepumpe allein, ohne Hilfsbetriebe, unter Standardbedingungen: Generierte Wärmeleistung im Verhältnis zur elektrischen Leistungsaufnahme. → Vergleich von Wärmepumpen.
SPF_{HP+HS} Seasonal Performance Factor, Heat Pump + Heat Source	<u>JAZ</u> Jahresarbeitszahl	Wärmepumpe in der Anwendung: Von der Wärmepumpe erzeugte Wärmemenge im Vergleich zum Stromverbrauch für Wärmepumpe und Pumpen Quellenseitig (Zirkulationspumpen Eisspeicher, Kollektorkreis), über eine definierte Periode, normalerweise ein Jahr. Ohne direkt vom Kollektor genutzte Nutzenergie, ohne Elektroheizstab, ohne Stromverbrauch für übergeordnete Steuerung. → Bewertung und Vergleich von Wärmepumpen-anlagen, nicht für Systemvergleich Eisspeicher-Solar-Wärmepumpe geeignet.
	JAZ1	
	JAZ _{Wärmepumpe}	
	NG Nutzungsgrad	
SPF_{bst} before Storage	<u>WNG</u> Wärmeerzeugernutzungsgrad	Eisspeicher-Solar-Wärmepumpe in der Anwendung: Inkl. Verbrauch der Zusatzheizung (z.B. Elektroheizstab) und der übergeordneten Steuerung, inkl. direkt von den Kollektoren erzeugte Nutzwärme. Ohne Speicherverluste, Wärmeverteilungsverluste, Pumpen wärmeseitig. → Bewertung und Vergleich von Eisspeicher-Solar- Wärmepumpen-Anlagen, ohne Speicher- und Verteilverluste. Hilfreich für den Vergleich von Konzepten mit möglichst wenig projektspezifischen Einflüssen.
	JAZ _{Wärmeerzeuger}	

SPF_{SHP} Solar and Heat Pump	SNG Systemnutzungsgrad	Dem Speicher, bzw. dem System direkt entnommene Wärme im Vergleich zum gesamten Stromverbrauch der Anlage ohne Verteilpumpen. Inkl. Stromverbrauch der Pumpen wärmeseitig, inkl. Speicherverluste. → Bewertung und Vergleich von Eisspeicher-Solar-Wärmepumpen-Anlagen inklusive Speicherverlusten, ohne Wärmeverteilung.
	JAZ _{sys} , JAZ _{System}	
	JAZ2	
SPF_{SHP+} Solar and Heat Pump+	SNG+	Gesamtbilanz der Anlage: Dem Verbraucher gelieferte Nutzwärme im Vergleich zur gesamten aufgewendeten elektrischen Energie. Die Verluste im Heizungs- und BWW-Netz und der Verbrauch der Verteilerpumpen werden mit eingerechnet. → Für den Anwender relevante Kennzahl, da der effektive Nutzen mit dem gesamten Aufwand verglichen wird.
	JAZ3	

Tabelle 3: Begriffsdefinitionen COP, JAZ und Nutzungsgrade

Abbildung 10 zeigt die Systemgrenzen für COP, JAZ, WNG und SNG in stark vereinfachter Form. Abbildung 14 bis Abbildung 14 stellen Stromverbraucher (E) und erzeugte Wärme (Q) dar, welche bei den verschiedenen Nutzungsgradsystemgrenzen mit berücksichtigt werden, ebenfalls in vereinfachter Darstellung. Abbildung 15 schliesslich stellt die Systemgrenze für den SPF_{WP_{HP+HS}} (JAZ) und den SPF_{SHP} (Systemnutzungsgrad SNG) mit allen Energieströmen im Blockscheema Format nach IEA SHC Task 44 dar.

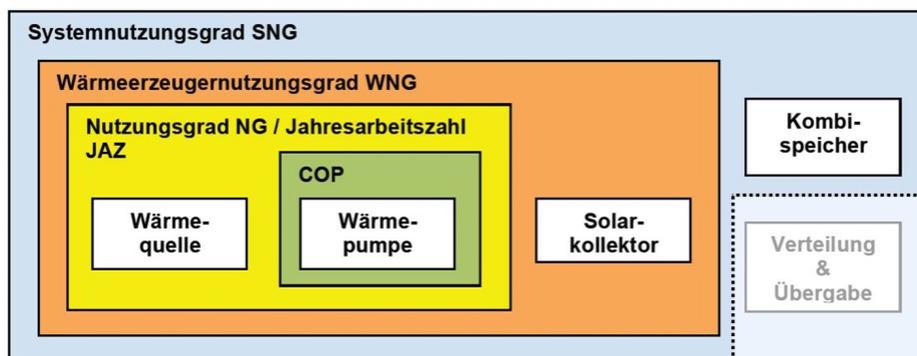


Abbildung 10: Stark vereinfachte Darstellung von COP, JAZ, WNG und SNG; Verteilung und Übergabe, inkl. Verbrauch für die Heizungspumpen sind in SNG+ enthalten

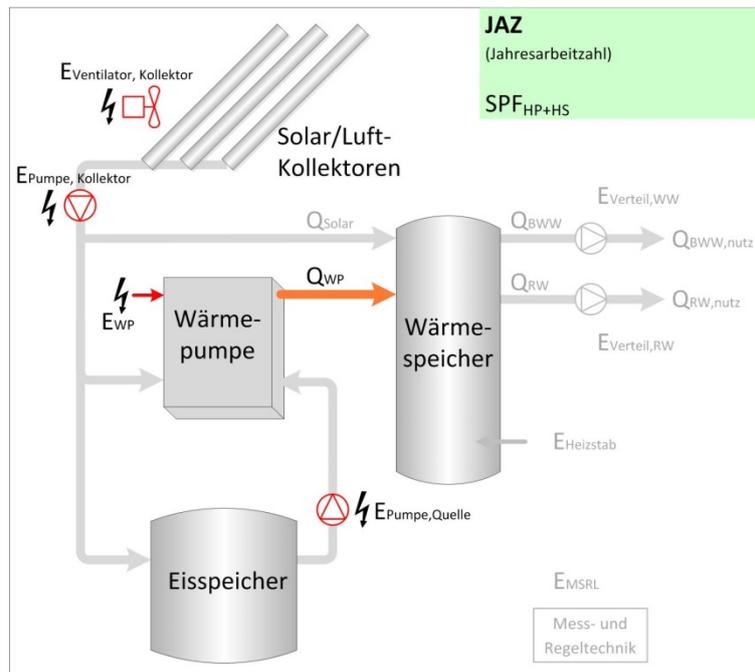


Abbildung 11: Jahresarbeitszahl JAZ (entspricht IEA SHC Task 44 Bezeichnung: Seasonal Performance Factor Heat Pump and Heat Source, SPF_{HP+HS}); schematische Darstellung der berücksichtigten Wärme und Stromverbraucher

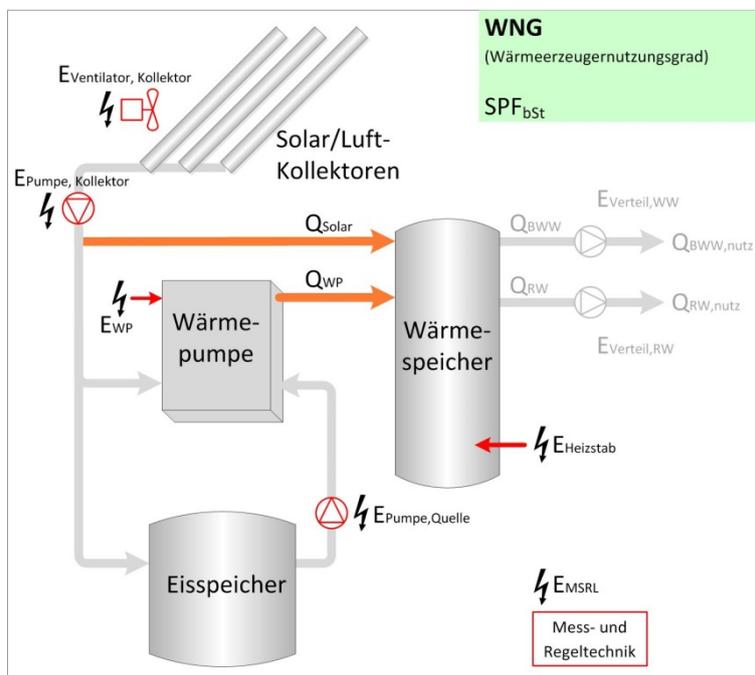


Abbildung 12: Wärmeerzeugernutzungsgrad WNG (entspricht IEA SHC Task 44 Bezeichnung: Seasonal Performance Factor before Storage, SPF_{bSt}); schematische Darstellung der berücksichtigten Wärme und Stromverbraucher

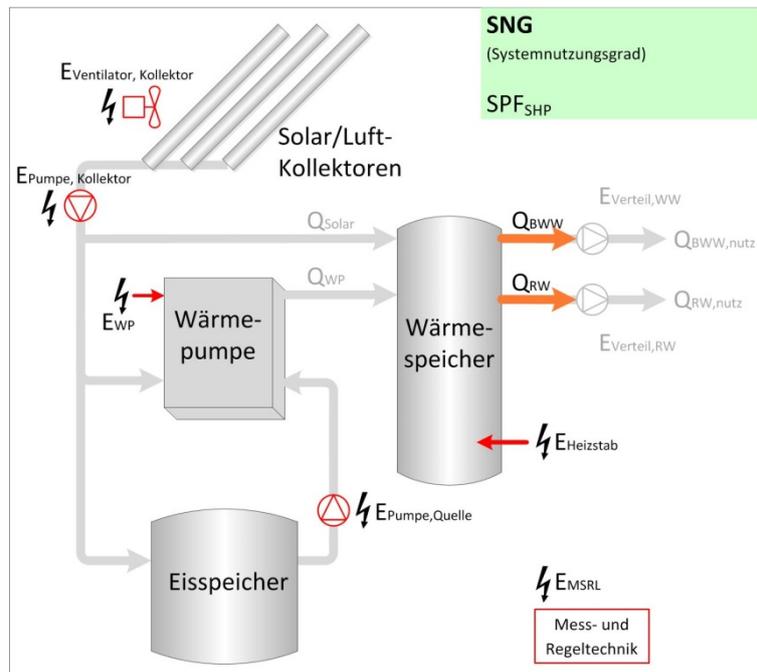


Abbildung 13: Systemnutzungsgrad SNG (entspricht IEA SHC Task 44 Bezeichnung: Seasonal Performance Factor Solar and Heat Pump, SPF_{SHP}); schematische Darstellung der berücksichtigten Wärme und Stromverbraucher

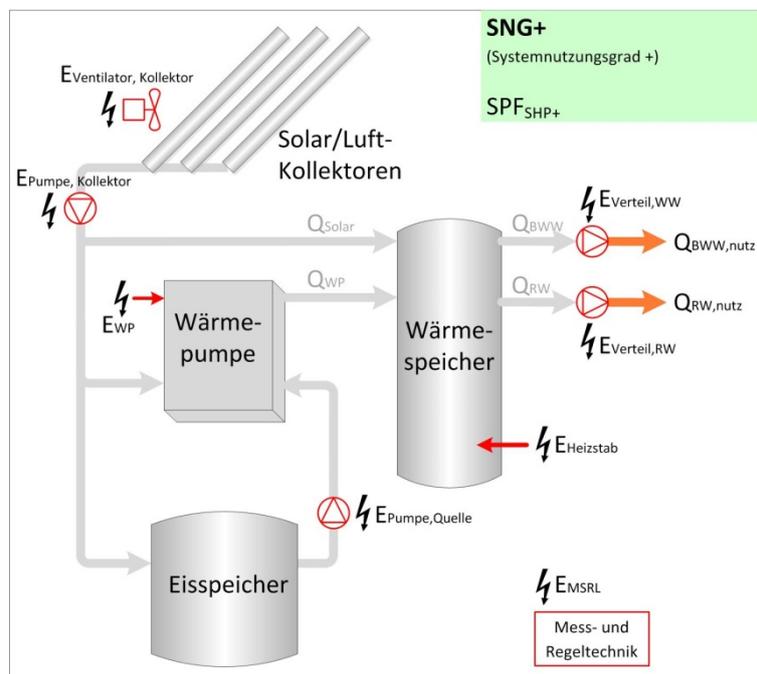


Abbildung 14: Systemnutzungsgrad SNG+ (entspricht IEA SHC Task 44 Bezeichnung: Seasonal Performance Factor Solar and Heat Pump+, SPF_{SHP+}); schematische Darstellung der berücksichtigten Wärme und Stromverbraucher

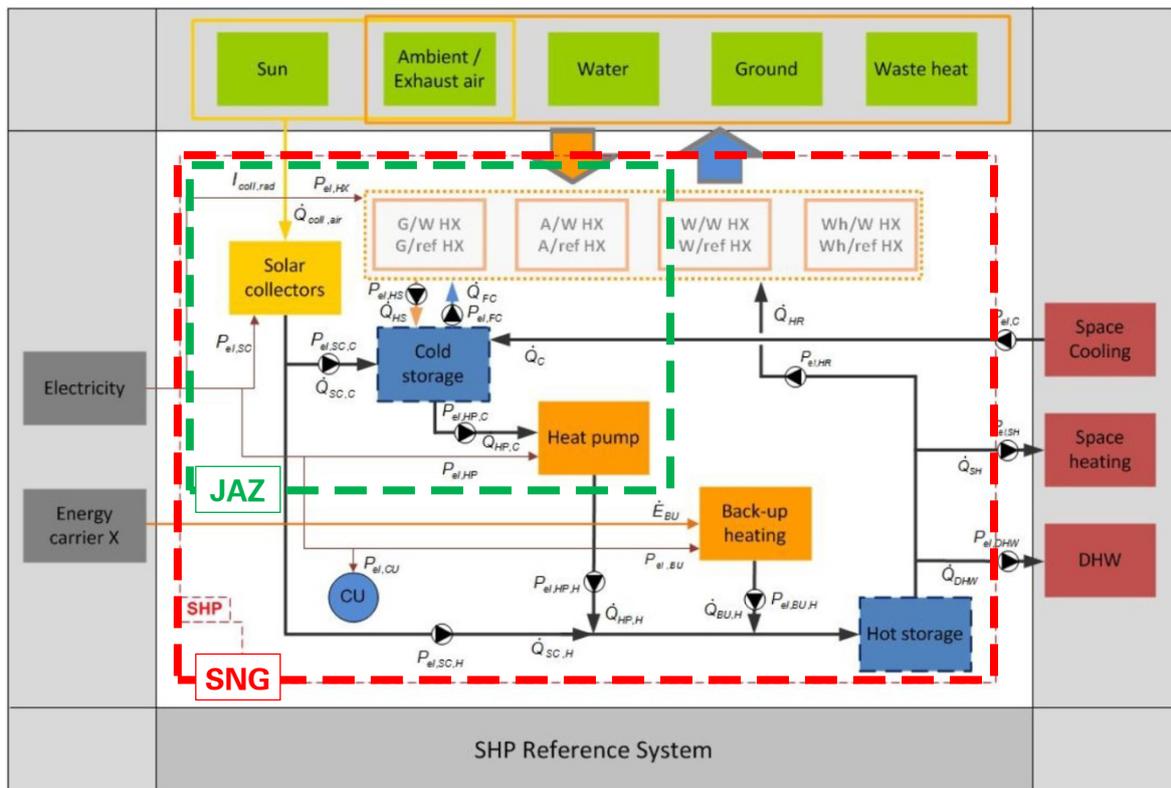


Abbildung 15: JAZ und SNG in der IEA SHC Task 44 Blockscheema-Darstellung, ergänzt um alle Stromverbraucher, Komponenten und Energieströme um ein generisches Wärmepumpen-System darzustellen. Details sind der Referenz (Malenkovic et al., 2012) zu entnehmen.

4.2 Einfluss der Randbedingungen auf den Nutzungsgrad

Die Randbedingungen für den Betrieb einer Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlage haben einen grossen Einfluss auf den Nutzungsgrad. Die Einflüsse sind, mit wenigen Abweichungen, weitgehend die gleichen wie bei anderen Wärmepumpensystemen:

- Der COP der Wärmepumpe ist primär beeinflusst von der Temperaturspreizung zwischen Verdampfer und Kondensator und damit einerseits den Vorlauftemperaturen der Raumheizung und der Temperatur des Brauchwarmwassers, andererseits von der Temperatur der Wärmequellen (z.B. Eisspeicher), also indirekt dem Klima bzw. dem Wetter, (Aussenlufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Sonnenstrahlung, Wind und Schnee).
- Der Wärmebedarf, das Verhältnis von BWW- und Raumwärmebedarf sowie das Verbrauchsprofil (Tages-, Wochen- und Jahresprofil) beeinflussen die Laufzeit der Wärmepumpe, das Wärmespeichermanagement, den Bedarf auf verschiedenen Temperaturniveaus sowie die Bewirtschaftung des Eisspeichers. All dies beeinflusst wiederum den Nutzungsgrad.
- Das Vorhandensein einer Legionellenschutzschaltung (periodische Erwärmung des BWW auf über 60°C) und die Frequenz der Schaltung führen zu periodisch tieferen COP der Wärmepumpe oder bedingt das Zuschalten des Elektroheizstabes.
- Weitere projektspezifische Parameter wie Kollektorausrichtung und -neigung sowie die Distanz zwischen Kollektor, Eisspeicher und Wärmepumpe beeinflussen die Temperaturen, den Ertrag, die Leitungsverluste und den Stromverbrauch der Hilfsbetriebe.

Beim Vergleich der Nutzungsgrade zwischen verschiedenen Anlagen müssen zwingend immer auch die Randbedingungen berücksichtigt und dokumentiert werden. Im IEA SHC Task 44 wurde darum ein Referenzszenario definiert, welches bei Simulationen verwendet wird. In der Praxis ist dies nicht möglich. Reelle Anlagen werden nie unter den exakt gleichen Randbedingungen betrieben werden können. Aus diesem Grund hat sich auch bewährt, für den genauen Vergleich von verschiedenen Konzepten oder Varianten mit Simulationen zu arbeiten. Die Algorithmen und Simulationstools werden an realen Anlagen validiert.

4.3 Vergleichsgrösse: Arbeitszahlen anderer Wärmepumpen-Systeme

Als Referenz für die Bewertung der Effizienz einer Eisspeicher-Anlage wird die Jahresarbeitszahl von Luft/Wasser- und von Erdsonden-Wärmepumpenanlagen herangezogen. Im Rahmen einer umfassenden Langzeit-Feldstudie (Hubacher und Bernal, 2012), wurde u.a. die Jahresarbeitszahl von 165 Wärmepumpen-Anlagen ermittelt. Die Auswertung der Feldstudie ergibt klimanormierte Systemnutzungsgrade SNG von im Durchschnitt ca. 3.7 für Sole/Wasser-Anlagen und ca. 2.6 bis 2.7 für Luft/Wasser-Anlagen.

5. Komplettsysteme

Derzeit existieren drei Anbieter, welche Eisspeicher-Anlagen als Komplettsysteme anbieten: Viessmann (D), Consolar (D) und Energie Solaire (CH). Die Komplettsysteme sind in erster Linie für Ein- und Mehrfamilienhäuser mit tiefen Vorlauftemperaturen geeignet. Eisspeicher-Anlagen für grössere Objekte werden individuell geplant. Die Komplettsysteme sind in der Standardausführung für den monovalenten Betrieb konzipiert. Die drei Systeme werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

5.1 Viessmann/Isocal

Das System wurde im Jahr 2006 von Isocal in Verbindung mit einer gasbetriebenen Wärmepumpe entwickelt (Plamening, 2013). Isocal wurde 2013 von der Viessmann Gruppe übernommen. Das Eisspeichersystem wird heute von Viessmann als Komplettsystem für Heizleistungen von 6 kW bis 17 kW angeboten. Ein oder zwei 10 m³ Eisspeicher mit ca. 9.6 m³ Wasserinhalt werden mit Niedertemperatur Kollektoren (von Viessmann "Solar-Luft-Absorber" genannt), einer Wärmepumpe aus dem Viessmann Programm und der Steuerung zusammen als Paket angeboten. Die Eckdaten sind in Tabelle 4 zusammengefasst, auf die einzelnen Aspekte wird in den folgenden Unterkapiteln vertieft eingegangen. Eine Herstellerdokumentation zum System ist im Anhang 1 enthalten.

Viessmann/Isocal Eisspeichersystem	
Wärmepumpen-Heizleistung	6-17 kW Heizleistung, Vitocal 300-G, 333/343-G, 350-G
Kollektortyp und -Fläche	Solar-Luft-Absorber SLK-S (Typ Schwimmbadkollektor), 4-13 Kollektoren mit 9.4 - 30.4 m ² Gesamtabsorberfläche
Eisspeichertyp und -Volumen	Im Erdreich vergrabene 10 m ³ Zisterne, ca. 9.6 m ³ Wasserinhalt, mit je einem Rohrwärmetauscher für Beladung und Entladung. Je nach Wärmepumpenleistung 1-2 Eisspeicher.
Einbindung der Wärmequellen	Die Wärme von den Kollektoren wird für die Regeneration des Eisspeichers oder direkt für den Wärmepumpen-Verdampfer genutzt, nicht aber direkt als Nutzwärme.

Tabelle 4: Eckdaten des Viessmann Eisspeichersystems

5.1.1 Einsatzbereich

Überall wo Platz für die Einbringung des Eisspeichers im Erdreich und Fläche für die Kollektoren vorhanden ist. Vorzugsweise bei Niedertemperaturheizungen bis 40°C. Allerdings auch bei höheren Vorlauftemperaturen einsetzbar.

5.1.2 Wärmepumpe

Viessmann Sole/Wasser-Wärmepumpen Vitocal 300-G, 333/343-G und 350-G mit RCD-System (Refrigerant-Cycle-Diagnostic-System) und einem elektronisch gesteuerten Expansionsventil mit Heizleistungen von 6-17 kW. Die Wärmepumpen arbeiten im Bereich von -10°C bis 25°C Soletemperatur. In Abbildung 16 sind die Einsatzbereiche nach EN 14511 gezeigt.

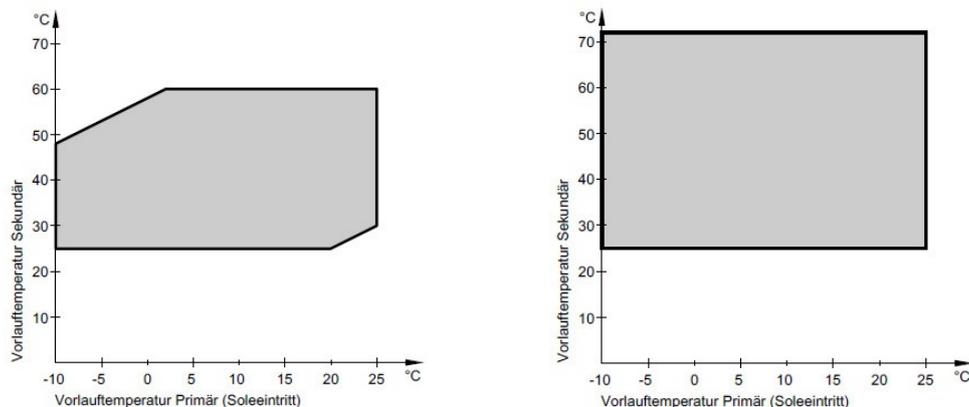


Abbildung 16: Einsatzgrenzen nach EN 14511 für Vitocal 300-G (links) und Vitocal 350-G (rechts); Temperaturspreizung primärseitig 3 K, sekundärseitig 5 K

5.1.3 Absorber

Viessmann setzt den Solar-Luft-Absorber SLK-S ein. Das ist ein unverglaster Kunststoff-Kollektor aus PE vom Typ "Schwimmbadkollektor" (siehe auch Kapitel 3.1). Der Absorber wird aus einem Stück gegossen und besitzt keine Schweiss- oder Klebeverbindungen. Der Kollektor besitzt zwei hydraulisch unabhängige Ebenen, die übereinander liegend auf einem Dachständer montiert werden.



Abbildung 17 und Abbildung 18: Viessmann Solar-Luft-Absorber SLK-S; 5 Stück links, 9 Stück rechts

Tabelle 5 zeigt die wichtigsten Eckdaten des Absorbers. Ein Datenblatt liegt im Anhang 2 bei.

Höhe x Breite	2.1 x 1.3 m
Bruttofläche/Absorberfläche	2.61 m ² / 2.34 m ²
Stillstandstemperatur	max. 60°C bei 1'000 W/m ²
Kollektorneigung	5°-90°
Wirkungsgradkurve solar, Zertifizierung	Leistungskurven von TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH ermittelt. Der Prüfbericht ist internes Firmen Know-How und wird nicht an Dritte weitergegeben. Kollektorcharakteristik ist im Polysun Simulationsmodell abgebildet und von FHNW validiert.

Tabelle 5: Eckdaten des Viessmann Solar-Luft-Absorbers SLK-S

5.1.4 Eisspeicher

Der Eisspeicher wird aufgrund seines Volumens von ca. 10 m³ nicht im Gebäude aufgestellt, sondern ausserhalb des Gebäudes vergraben. Die Zisterne aus Spezial-Beton besitzt zwei Wärmetauscher, einen innenliegenden für Wärmeentzug, und einen aussenliegenden für Wärmeeintrag (Abbildung 19). Das Einfrieren des Speichers geschieht von innen nach aussen und von unten nach oben, um eine Ausdehnung des Eises ohne Sprengwirkung zu ermöglichen. Die Wasserfüllung des Eisspeichers beträgt etwa 90% des Gesamtvolumens. Die Zisterne ermöglicht auch die Nutzung von Wärme aus dem umgebenden Erdreich.

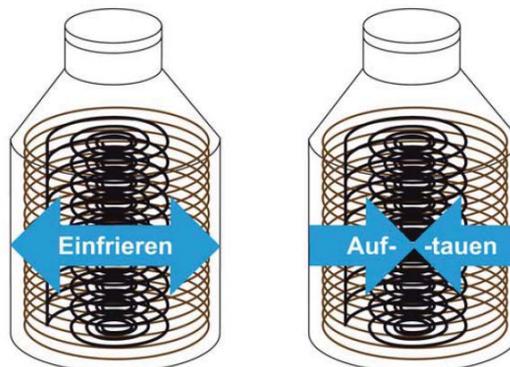


Abbildung 19: Der Regenerationswärmetauscher befindet sich am äusseren Rand des Speichers. Der Entzugswärmetauscher ist im Innern der Zisterne angebracht (Bild: www.viessmann.de).



Abbildung 20 und Abbildung 21: Viessmann Eisspeicher "Zisterne", links: Von aussen vor dem vergraben, rechts: Die innenliegenden Kunststoff-Spiralrohr-Wärmetauscher

Tabelle 6 zeigt die wichtigsten Eckdaten des Eisspeichers. Ein Datenblatt liegt im Anhang 3 bei.

Aussendurchmesser	2.7 m
Höhe	3.3 m, mit begehbaren Schachtabdeckung
Baugrubentiefe	3.6 m
Wasservolumen	ca. 9.6 m ³
Speicherkapazität (25°C -> Eis -> -5°C)	740 kWh (Annahme: 50% des Volumens vereist) ¹
Entladungsdauer bei 6 kW Heizleistung	8.7 Tage (bei 18 h/Tag WP-Betrieb, ohne Regeneration)
Entladungsdauer bei 10 kW Heizleistung	5.2 Tage (bei 18 h/Tag WP-Betrieb, ohne Regeneration)

Tabelle 6: Eckdaten des Viessmann/Isocal Eisspeichers

5.1.5 Gesamtsystem

Das Eisspeichersystem wird in vordefinierten Systempaketen für Wärmepumpen mit einer Leistung von 6-17 kW vertrieben. Hierbei werden je nach Leistung ein oder zwei Eisspeicher mit einem Wasservolumen von je ca. 9.6 m³ verwendet. Abbildung 22 zeigt die hydraulische Einbindung der Wärmequellen und des Eisspeichers.

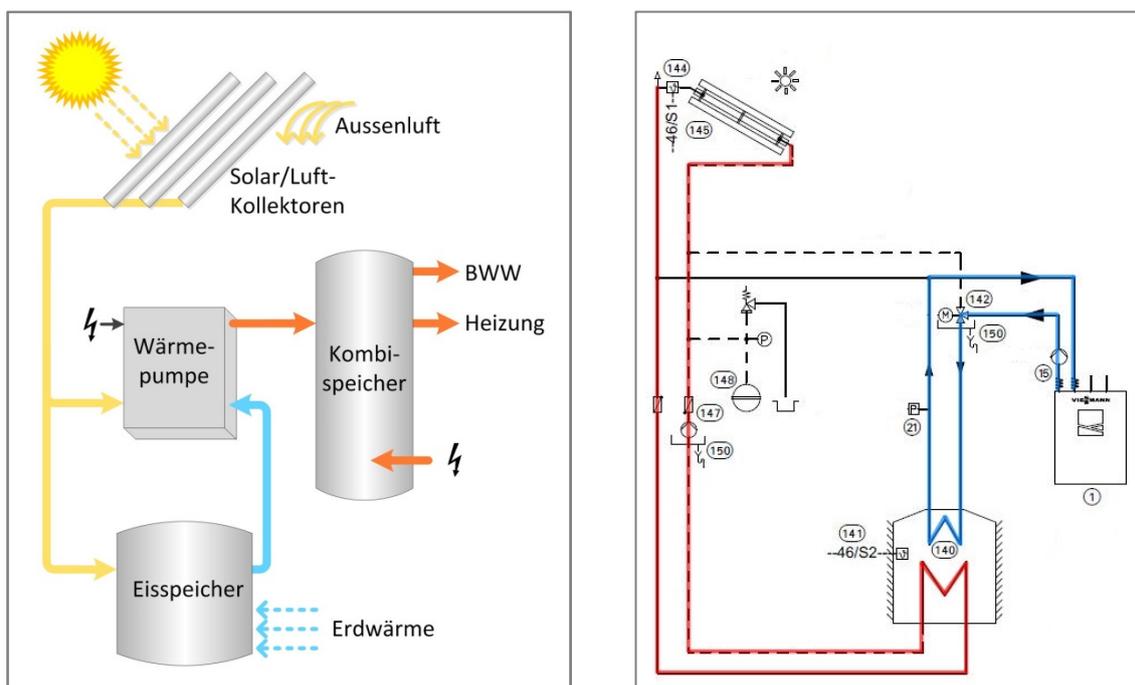


Abbildung 22: Links: Viessmann Gesamtsystem; rechts: Vereinfachtes Hydraulik-Schema mit Kollektoren, Eisspeicher, Wärmepumpe (verändert nach Viessmann, 2013)

¹ Höhere Vereisungsgrade und damit höhere Speicherkapazitäten sind unter Umständen möglich, gemäss Hersteller bis 90%. Der Aspekt des Vereisungsgrades in Abhängigkeit von Betriebsweise und Dimensionierung wurde nicht weiter untersucht.

volumen sind ebenfalls realisiert worden, eine davon z.B. mit 1'800 m³ Speicher-Volumen (Bedal, 2012, s. Kapitel 6.3.1). In der Schweiz sind gemäss Viessmann heute ca. 20 Standard-Anlagen in Betrieb.

5.1.10 Betriebserfahrungen

Mit bis heute ca. 600 installierten Anlagen bestehen relativ viele Betriebserfahrungen. Bei den ersten Anlagen traten teilweise Probleme mit der Dichtigkeit der Eisspeicher auf. Diese sind durch Verbesserungen am Speicher inzwischen behoben. Bei 20-30 Anlagen traten Probleme auf durch z.T. unkorrekt ausgeführter Hydraulik oder fehlerhaft eingestellter Regelung. Eine generelle Aussage des Herstellers ist, dass eine korrekt eingestellte Regelung zentral ist für hohe Nutzungsgrade. Bei intensiv betreuten Anlagen konnten deutliche Steigerungen der Wärmepumpen JAZ durch Optimierung der Regelung erreicht werden.

Eine vom ITW Stuttgart im Detail vermessene und begleitete Anlage erreichte eine JAZ (Wärmepumpe) von 4.68 und einen Systemnutzungsgrad von 3.57. Das sind ähnliche Werte wie bei Erdsonden-Wärmepumpe.

Die Alteno AG begleitet im Auftrag des Kantons BL eine CTA/Isocal und zwei Viessmann/Isocal Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen. Eine seit Herbst 2012, zwei seit Herbst 2013. Dabei handelt es sich um Heizungssanierungen in Altbauten mit relativ hohen Vorlauftemperaturen. Die Tabelle in Abbildung 24 zeigt die Eckdaten der Objekte und der Anlagenkomponenten. Auffallend sind die Freigabezeiten für die BMW-Aufbereitung in der Nacht, welche aufgrund der lokalen Stromtarife gewählt wurde (nicht im Zusammenhang mit der Eisspeicher-Wärmepumpe).

Anlage [Kürzel]	M	O	P
Energiestandard Gebäudehülle [Jahr]	1820 Hülle 2013 Fenster	2013 Gesamtsanierung Gebäudeprogramm	1992 Kt. BL
Bewohner [Anzahl]	1	3	2
EBF [m ²]	137	147	195
WP [kW _{th} bei B0 / W50]	8.7	9	12
Eisspeichervolumen [m ³]	9.6	9.6	2 x 9.6
Solarluftkollektoren belegte Fläche [m ²]	25	21	23
Wärmeträgerflüssigkeit	Propylenglykol	Typhocor	Typhocor
Wassererwärmer [l]	400	476	488
Heizspeicher [l]	300	2 x 560	560
Wärmeverteilung Heizkörper Vorlauf/Rücklauf [°C]	50/40	45/35	55/45 ca. 70/50
WW-Sollwert [°C] (Freigabezeit)	51 (22:00-04:00)	55 (ab 21:00)	50 (00:00-06:00)
Spezielles	RT kaum über 20°C	FHNW misst im Auftrag von Viessmann	(zu)kleine Radiatoren im Wohnzimmer

Abbildung 24: Eckdaten der drei anonymisierten Objekte, welche mit Viessmann, resp. CTA/Viessmann Eisspeicher-Anlagen ausgestattet wurden und von Alteno AG vermessen werden (Tabelle von Alteno AG)

Die Kollektoren sind bei der Anlage P auf einer gegen Norden geneigten Dachfläche angebracht (südseitig PV-Module). Ebenfalls bei der Anlage P wurde die Wärmepumpe von

einem Drittanbieter eingesetzt (CTA) und die Regelung vom Installateur selber aufgebaut. Es handelt sich also nicht um ein Komplettsystem.

Bei allen Anlagen konnte durch Massnahmen an der Steuerung und Korrektur von fehlerhaft montierten Komponenten eine signifikante Verbesserung der Anlageneffizienz erzielt werden. Abbildung 25 zeigt die Entwicklung des Monats-Systemnutzungsgrades (SNG+) der Anlage M über die ersten Betriebsmonate. Abbildung 26 zeigt das gleiche für die Anlage P.

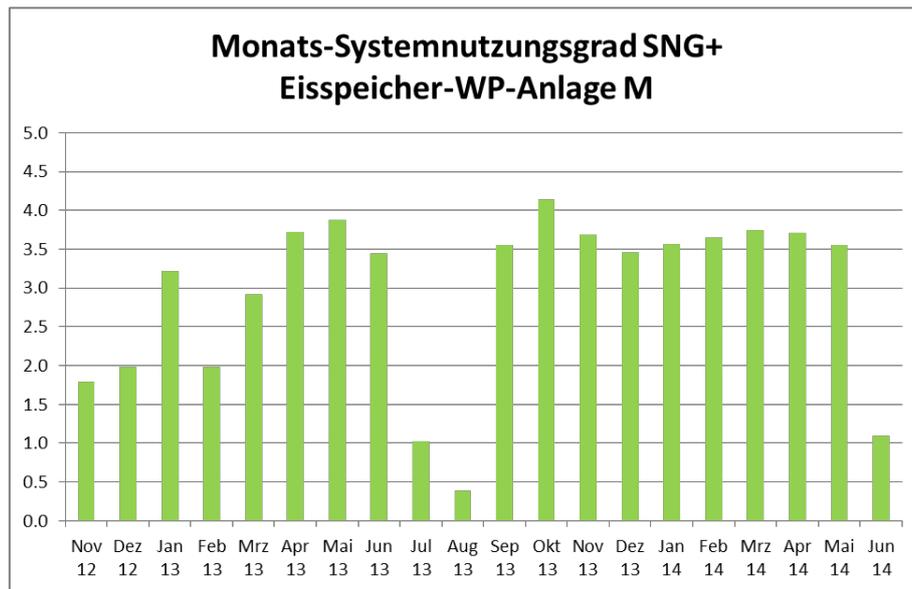


Abbildung 25: Objekt "M": Massive Verbesserung des Monats-SNG+ nach Inbetriebnahme durch Massnahmen an Regelung. Einbruch im Hochsommer wegen ausschliesslicher BWW-Erwärmung (Grafik von Alteno AG).

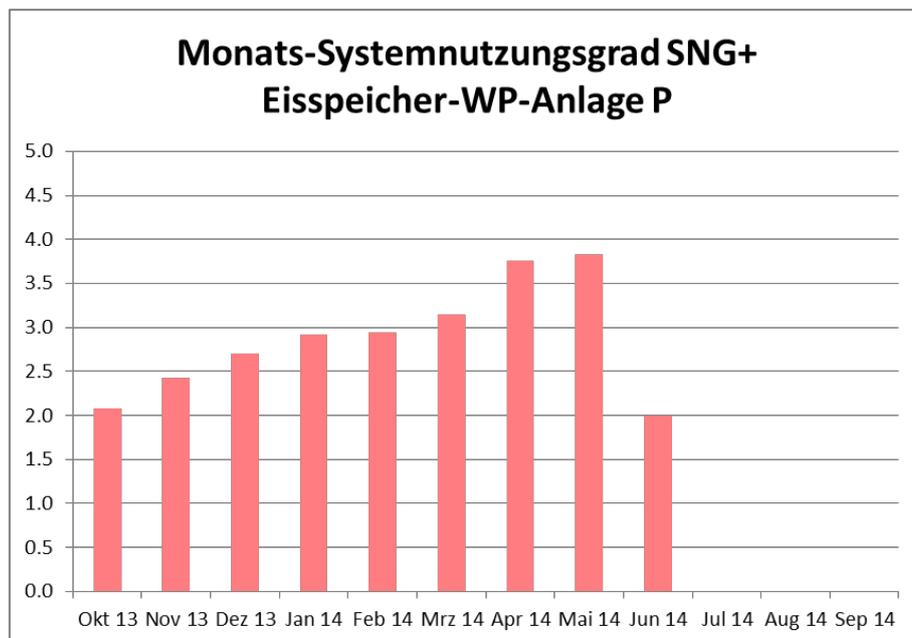


Abbildung 26: Objekt "P": Deutliche Verbesserung des Monats-SNG+ nach Inbetriebnahme durch Massnahmen an Regelung (Grafik von Alteno AG)

Folgende Massnahmen wurden z.T. an den drei Anlagen umgesetzt (Auswahl):

- Reduktion der Laufzeiten der Regenerationspumpen
- Reduktion der Temperatur und der Frequenz der Legionellenschutzschaltung
- Optimierung der Nachtabsenkung der Raumheizung (Aussenfühler an einer Anlage falsch platziert)
- Reduktion der minimalen Wärmepumpen-Verdampfertemperatur von 0°C auf -4°C

Nur die Anlage M wurde bereits ein volles Jahr betrieben. Die Jahresbilanz dieser Anlage mit Heizkreistemperaturen 50/40°C ergibt, trotz der schwierigen Startphase, einen SNG+ von 3.5. Dies ist vergleichbar mit einer Erdsonden-Wärmepumpe. In den Folgejahren ist zu erwarten, dass der SNG noch etwas höher zu liegen kommt.

5.2 Consolar Solaera

Die Entwicklung des Solaera-Konzepts begann im Jahr 2003 mit Unterstützung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Erste Feldtests wurden 2006 durchgeführt. Beim Solaera-System sind Wärmepumpe, Eisspeicher, Steuerung und alle Armaturen in einem kompakten Gehäuse untergebracht. Im Vergleich mit Viessmann verwendet Consolar einen um Faktor 30 kleineren Eisspeicher mit nur 320 Liter Inhalt, sowie verglaste Kollektoren mit aktiver Hinterlüftung (von Solaera "Hybridkollektor" genannt), welche auch bei höheren Temperaturen noch effizient arbeiten. Die Eckdaten des Systems sind in Tabelle 7 zusammengefasst, auf die einzelnen Aspekte wird in den folgenden Unterkapiteln vertieft eingegangen. Eine Herstellerdokumentation zum System ist im Anhang 4 enthalten.

Consolar Solaera	
Wärmepumpe	Sole/Wasser-Wärmepumpe mit 6.3 - 6.9 kW Heizleistung, Scrollverdichter, Kältemittel R407C
Kollektortyp und -Fläche	"Hybridkollektor": Verglaster, selektiver Flachkollektor mit aktiver Hinterlüftung (Ventilator), 5-15 Kollektoren mit 11.4 - 34.3 m ² Gesamtkollektorfläche (Apertur)
Eisspeichertyp und -Volumen	Mit der Wärmepumpe in einem Schrank integrierter 320 Liter Eisspeicher mit Kunststoffrohr-Wärmetauscher in Serie mit dem Wärmepumpen-Verdampfer. Nur ein Wärmetauscher, welcher für das Laden und Entladen gebraucht wird.
Einbindung der Wärmequellen	Die Wärme von den Kollektoren wird für die Regeneration des Eisspeichers oder direkt als Nutzwärme verwendet, nicht aber direkt als Wärmequelle für den Wärmepumpen-Verdampfer.
Wärmespeicher	Solus II Kombispeicher, 560-1'000 Liter
Backup Heizung	7.5 kW Elektro-Heizstab

Tabelle 7: Eckdaten des Consolar Solaera Komplettsystems

5.2.1 Einsatzbereich gemäss Hersteller

Consolar empfiehlt das Solaera System im monovalenten Betrieb für Objekte mit einem Wärmebedarf für Raumwärme und BWW bis 13'000 kWh/a, Vorlauftemperatur unter 40°C und maximaler Heizlast unter 8 kW. Für höhere Wärmebedarfe, Heizlasten oder

Vorlauftemperaturen wird der bivalente Betrieb mit einer zusätzlichen Energiequelle empfohlen.

5.2.2 Wärmepumpe

In der Energiezentrale wird nur ein Wärmepumpenprodukt eingesetzt: Eine Consolar Sole/Wasser-Wärmepumpe mit 6.3 - 6.9 kW Heizleistung, Scrollverdichter und Kältemittel R407C.

5.2.3 Kollektor

Consolar setzt einen verglasten, selektiven Flachkollektor mit aktiver Hinterlüftung ein (mit Ventilator). Abbildung 27 zeigt ein Schnittbild und ein Katalogbild des Kollektors. Der Kollektortyp erlaubt durch die selektive Beschichtung und transparente Abdeckung einen hohen Solarertrag, auch bei höheren Temperaturen, z.B. für direkte BWW-Erwärmung (siehe auch Kapitel 3.1). Durch die aktive Hinterlüftung ist auch der Wärmeertrag aus der Umgebungsluft hoch. Tabelle 8 zeigt die wichtigsten Eckdaten. Ein technisches Datenblatt ist im Anhang 5 beigelegt.

Höhe x Breite	2.38 x 1.16 m
Aperturfläche	2.34 m ²
Stillstandstemperatur	ca. 191°C bei 1'000 W/m ²
Kollektorneigung	40°-90° Neigung in Gebieten mit wenig Schnee >60° Neigung in Gebieten mit viel Schnee Antauvorrichtung mit Sole bei <60° Neigung
Ventilator Anschluss und Leistung	Axiallüfter, 230V/50Hz, 26 Watt, dreistufig regelbar
Wirkungsgradkurve solar, Zertifizierung	Solar Keymark, EN 12975 und Din Certco zertifiziert a0 = 0.803, a1 = 5.148, a2 = 0.0083

Tabelle 8: Eckdaten des Consolar Solaera Hybridkollektor

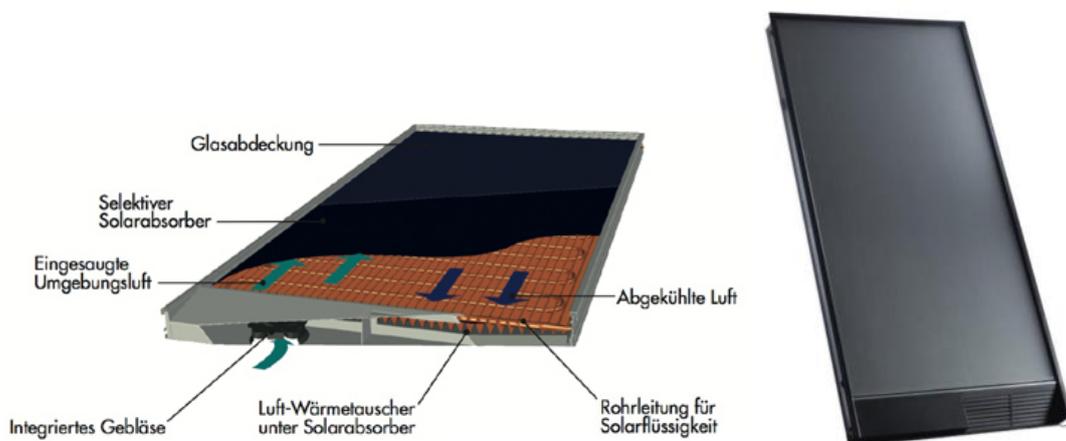


Abbildung 27: Solaera-Hybridkollektor von Consolar (Bild: Consolar)

Die Belüftungsöffnungen sind so angebracht, dass sie auch bei Schneebedeckung lang frei bleiben und weiterhin Umgebungswärme aus der Luft bezogen werden kann. Bau-seits muss dazu sichergestellt werden, dass sich der Schnee nicht unter den Kollektoren aufstaut. Um auch bei Schnee Solarertrag zu ermöglichen, gibt es eine automatische Antaufunktion, die aber in Gebieten mit viel Schnee ggf. nicht ausreicht. Daher wird dort eine minimale Kollektorneigung von 60° empfohlen. Abbildung 28 zeigt zwei Montageva-rianten des Kollektors.



Abbildung 28: Dachmontage auf renoviertem Altbau und Fassadenmontage an Neubau

5.2.4 Eisspeicher

Der Solaera Eisspeicher hat mit seinen 320 Litern ein vergleichsweise kleines Volumen. Der Speicher ist direkt in einem Gehäuse mit der Wärmepumpe eingebaut und wird im Heizungsraum aufgestellt. Ein einziger Kunststoffrohr-Wärmetauscher (PP) wird sowohl zum Regenerieren als auch zum Entladen verwendet. Der Wärmetauscher mit vergleichsweise hoher spezifischer Oberfläche, geringem Durchmesser und geringen Abständen zwischen den Rohren verspricht einen sehr effizienten Wärmeaustausch (kleine Temperaturdifferenz). Der Wärmetauscher im Eisspeicher ist in Serie mit der Wärmepumpe geschaltet. Es gibt nicht zwei getrennte Solekreisläufe wie im Viessmann System. Abbildung 29 links zeigt den Einbau des Eisspeicher-Behälters in der "Energiezentrale", in der Abbildung 29 rechts ist der Spiralrohr-Wärmetauscher im Eisspeicher ersicht-lich.



Abbildung 29: Links: Die Integration des 320 Liter Eisspeichers im selben Schrank wie die Wärmepumpe; rechts: Ein Ausschnitt des Eisspeicher-Wärmetauschers mit beginnender Vereisung

Tabelle 9 zeigt die wichtigsten Eckdaten des Eisspeichers.

Wasservolumen	320 Liter
Speicherkapazität (-10°C -> Eis - > 25°C)	38 kWh (Annahme: 100% des Volumens vereist)
Entladungsdauer bei 6.9 kW Heizleistung	7.1 Stunden (ohne Regeneration)

Tabelle 9: Eckdaten des Consolar Solaera Eisspeichers

5.2.5 Gesamtsystem

Beim Solaera-System sind Wärmepumpe, Eisspeicher und alle Armaturen in einem kompakten Gehäuse untergebracht (Abbildung 30).



Abbildung 30: Consolar Energiezentrum, links: Katalogbild, rechts im Einsatz; Im Gehäuse sind unten Eisspeicher, oben Wärmepumpe, Steuerung und hydraulische Komponenten untergebracht. Daneben ist der der zylindrische Wärmespeicher zu sehen.

Eisspeicher und Hybridkollektoren sind in Serie geschaltet. Abbildung 31 zeigt die hydraulische Einbindung der Wärmequellen und des Eisspeichers.

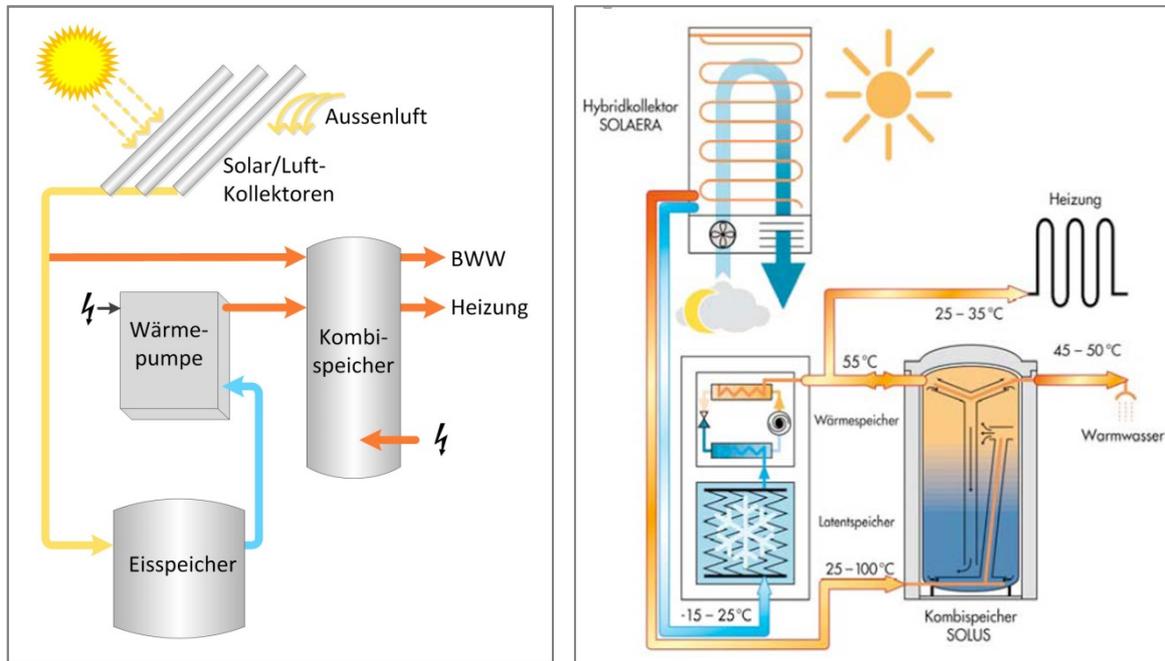


Abbildung 31 links: Consolar Solaera Gesamtsystem; rechts: Energiefluss-Schema (Leibfried und Faßnacht, 2010)

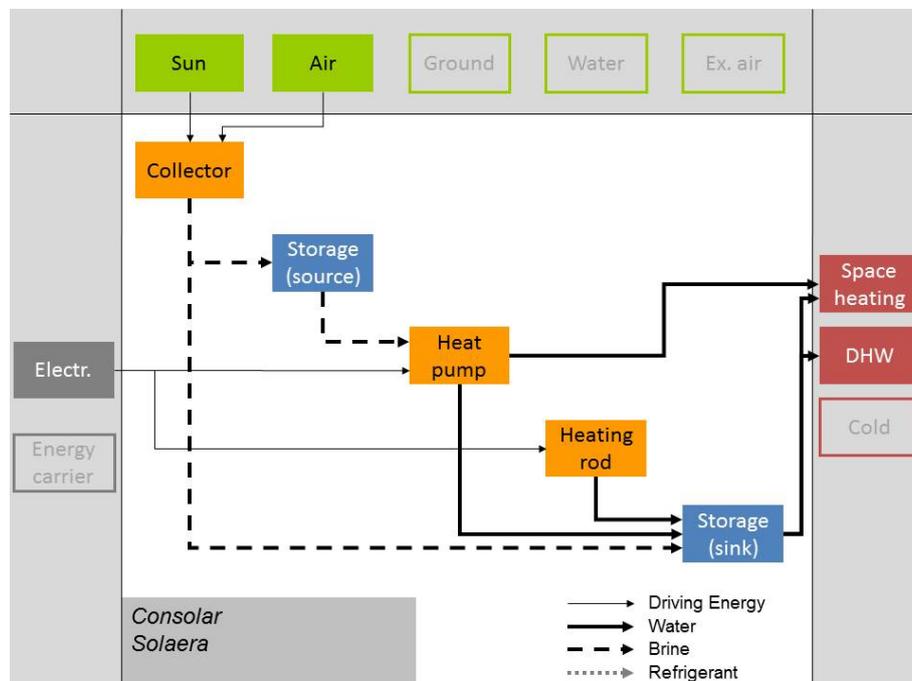


Abbildung 32: Consolar Solaera Gesamtsystem in IEA SHC Task 44 Blockscheema-Darstellung

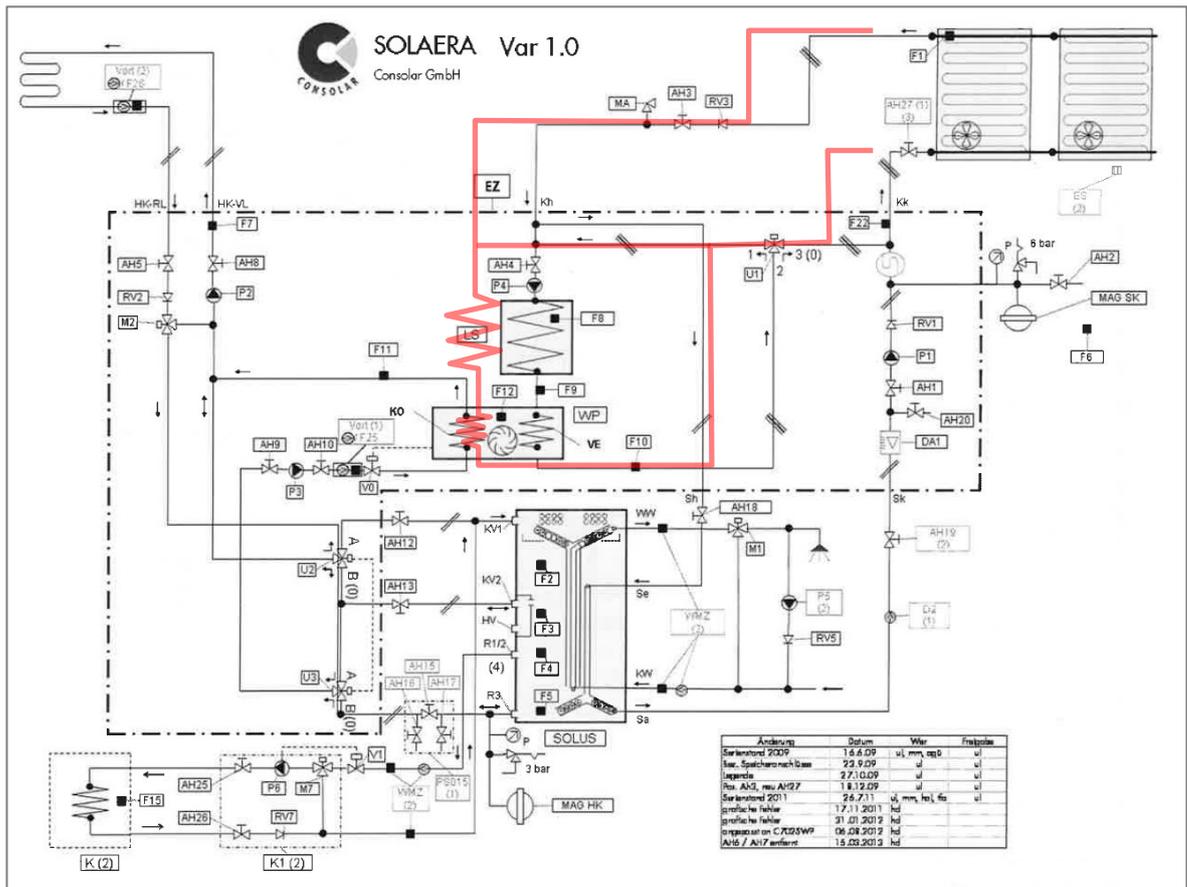


Abbildung 33: Hydraulik-Schema des Solaera-Systems V1.0 für einen Heizkreis. Der Anschluss der Solarkollektoren an den Eisspeicher und den Verdampfer der Wärmepumpe ist rot markiert (Bild verändert nach "Solaera, Das Solarsystem zur Vollversorgung, Stand Mai 2013, Technische Dokumentation, Montage- und Betriebsanleitung", Consolar GmbH).

5.2.6 Betriebsweisen

Umgebungswärme und Sonnenwärme werden von den Hybrid-Kollektoren entweder direkt als Nutzwärme für Raumheizung/BWW verwendet oder für die Regeneration des Eisspeichers, jedoch nicht direkt für den Verdampfer der Wärmepumpe.

Die Wärmepumpe bezieht Wärme immer vom Eisspeicher, welcher in Serie zwischen Kollektoren und Wärmepumpenverdampfer geschaltet ist. Auf diese Weise werden kurzfristige Temperaturschwankungen am Verdampfer vermieden. Die Wärmepumpe wird bis Verdampfer-Eintrittstemperaturen von -15°C für Heizwärme und -10°C für BWW-Erwärmung betrieben und bei Unterschreiten dieser Temperatur abgeschaltet. Bei monoenergetischem Betrieb dient in dem Fall ein Heizstab im Wärmespeicher als "Notheizung".

In der Steuerung ist die Einbindung einer zusätzlichen Wärmequelle für den bivalenten Betrieb als Option vorgesehen.

5.2.7 Möglichkeiten zur Nutzungsgrad-Messung

Die Einschaltzeit des Elektroheizstabes wird standardmässig aufgezeichnet. Für die Messung des Verdichterstroms kann optional ein weiterer Stromzähler als Zubehör im Gehäuse des Energiezentrums installiert und an den Regler angeschlossen werden. Die Messung des Stromverbrauchs der Hilfsbetriebe (Pumpen) kann ebenfalls mit einem optional erhältlichen Zähler erfasst werden. Die Wärmelieferung der Wärmepumpe wird

standardmässig mit Wärmehähler gemessen. Als Option sind Zähler für die gesamte Wärmeabgabe sowie für die Wärmelieferung der direkt nutzbaren Solarwärme erhältlich. Damit können JAZ und WNG gemäss der Definition im Kapitel 4.1 erfasst werden.

Sämtliche Zähler werden am Systemregler angeschlossen, der serienmässig via Internet seine Daten auf ein Portal übertragen kann. Darauf kann der Endkunde die wichtigsten Daten seiner Anlage einsehen und Einstellungen aus der Ferne vornehmen. Die Anlage kann im Rahmen eines Wartungsvertrags im Detail fernüberwacht werden. Regler und Portal enthalten automatische Funktionskontrollen. Im Falle von Abweichungen erhält die Wartungsfirma automatisch eine Nachricht.

5.2.8 Auslegungstools

Consolar stellt Partnern ein Excel Tool (Eigenentwicklung) für die Machbarkeitsabklärung, Auslegung und für die Berechnung des voraussichtlichen Ertrags zur Verfügung. Das Tool wird Interessierten nach Registrierung zur Verfügung gestellt. Das Tool wurde mit dynamischen Simulationsprogrammen validiert. Das Consolar System kann ebenfalls mit Polysun simuliert werden, allerdings noch ohne das Steuerungsmodul, welches von Consolar eingesetzt wird. Das ist eine deutliche Einschränkung, da die Steuerung einen grossen Einfluss auf den Anlagenenertrag hat. Spezielle Anlagenkonfigurationen, die über den Anwendungsbereich des Excel-Tools hinausgehen, können in TRNSYS simuliert werden. Diesen Service bietet Consolar für konkrete Projekte an.

5.2.9 Markt/Referenzen

Derzeit sind ca. 150 überwiegend kleine Anlagen für EFH in Betrieb, davon ca. 10 Anlagen in der Schweiz.

5.2.10 Betriebserfahrungen, Nutzungsgrade

Seit 2007 wurden 15 Feldtestanlagen mit Messtechnik ausgestattet und über Datenüberwachung via Internet bis Mitte 2009 ausgewertet werden. In Abbildung 34 ist für eine dieser Anlagen die von den Kollektoren an das System abgegebene Energie für das gesamte Jahr 2008 als Tageswerte dargestellt. Von Mai bis Oktober wird der Wärmebedarf des Objektes nahezu ausschliesslich direkt bereitgestellt, d.h. ohne Wärmepumpe. Die Daten für Dezember zeigen, dass bei kalten Aussentemperaturen ein Anstieg der Solarstrahlung zu erkennen ist und die Betriebsstunden mit Ventilator-Betrieb abnehmen.

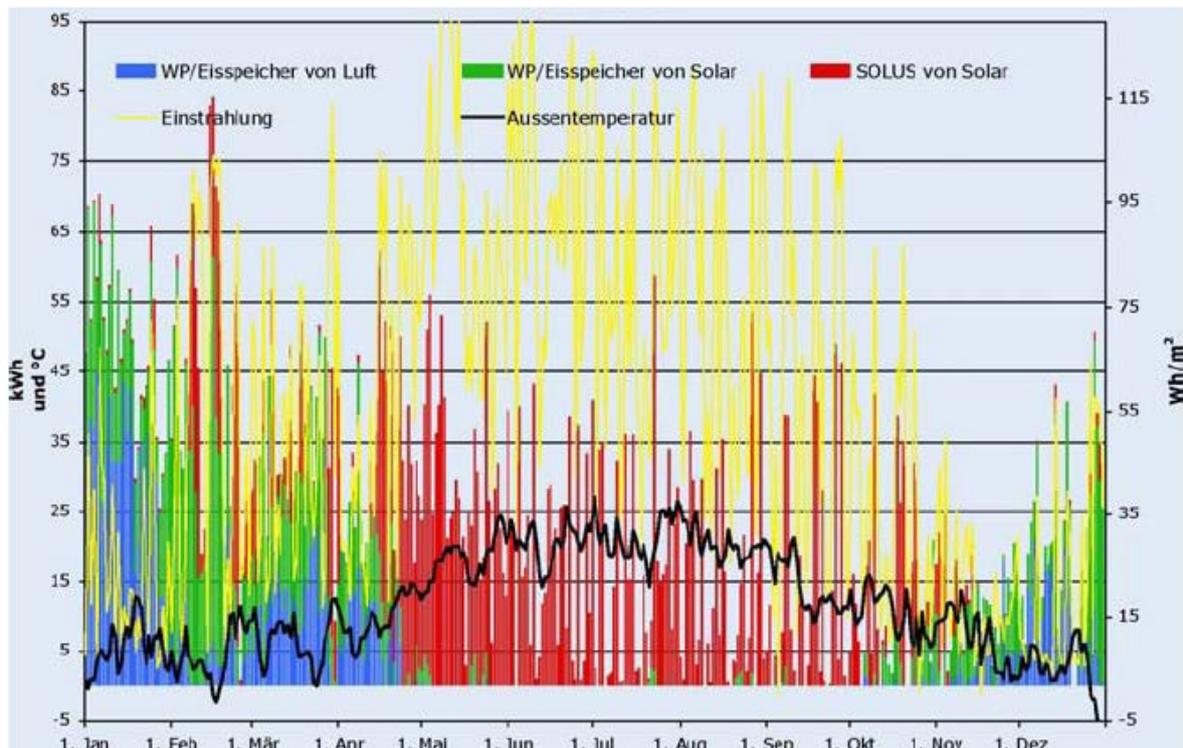


Abbildung 34: Im Jahr 2008 von den Kollektoren an das Heizsystem eines Neubaus bei Frankfurt abgegebene Energie (Tageswerte), blau: Ventilatorbetrieb (kombinierte Nutzung von Strahlung und Luftwärme), grün: Absorbierte Strahlungsenergie von der Wärmepumpe genutzt, rot: Absorbierte Strahlungsenergie, direkt für Warmwasser und Heizung genutzt (Leibfried, 2009)

Simulationsstudien am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (IWT) der Universität Stuttgart lassen Wärmepumpen-JAZ von 3.8 - 4.0 und Systemnutzungsgrade SNG von 5.1 - 5.2 erwarten, bei 20-25 m² Kollektorfläche und Heizungsvorlauf-/Rücklaufemperatur von 35/25°C. In einem Feldtest der Agenda 21 Gruppe Lahr wurde eine Solara-Anlage in einem Niedrigenergie-Einfamilienhaus mit Fussbodenheizung während einem Jahr vermessen. Der gemessene Jahres-SNG zwischen Mai 2013 und Juni 2014 liegt bei 5.6, wobei die Wintermonate im langjährigen Vergleich ca. 3°C zu warm waren (Auer und Schote, 2014).

Das Consolar Solaera System wurde mit dem Energie Solaire Kollektor vermessen und dokumentiert. Auf die Resultate wird im Kapitel 5.3.5 unten näher eingegangen. Die Messungen lassen Wärmepumpen JAZ im ähnlichen Bereich wie Erdsonden-Wärmepumpen erwarten und Systemnutzungsgrade, welche deutlich darüber liegen.

5.3 Energie Solaire

Energie Solaire SA bietet für kleine Objekte seine unverglasten selektiven Kollektoren in Kombination mit einer Solarera Kompaktanlage an. Für Grossprojekte kombiniert Energie Solaire SA marktübliche Wärmepumpen und Eisspeicher mit den unverglasten selektiven Kollektoren und einer eigenen Steuerung (so z.B. bei der Wärmeversorgung der Wohnsiedlung La Cigale in Genf mit 1'680 m² Kollektorfläche, siehe Kapitel 6.2).

Die Eckdaten des Komplettsystems für kleine Anlagen sind in Tabelle 7 zusammengefasst, Die Komponenten (ausser der Kollektor) und Betriebsweisen der Anlage sind im Kapitel 5.2 über Consolar Solaera beschrieben. Auf den Kollektor und die Markt und Betriebserfahrungen wird in den folgenden Unterkapiteln vertieft eingegangen. Eine Herstellerdokumentation zum System ist im Anhang 6 enthalten.

Energie Solaire SA Eisspeicher-Wärmepumpe	
Wärmepumpe	Solaera Sole/Wasser-Wärmepumpe mit 6.3 - 6.9kW Heizleistung, Scrollverdichter, Kältemittel R407C
Kollektortyp und -Fläche	Unverglaster selektiver Flachkollektor, alternativ voll integriert als Dachhautersatz, normalerweise 20-30 m ² Gesamtkollektorfläche (Apertur).
Eisspeichertyp und -Volumen	Solaera Energiezentrum: Mit der Wärmepumpe in einem Schrank integrierter 320 Liter Eisspeicher mit Kunststoffrohr-Wärmetauscher in Serie mit dem Wärmepumpen-Verdampfer. Nur ein Wärmetauscher, welcher für das Laden und Entladen gebraucht wird.
Einbindung der Wärmequellen	Die Wärme von den Kollektoren wird für die Regeneration des Eisspeichers oder direkt als Nutzwärme verwendet, nicht aber direkt als Wärmequelle für den Wärmepumpen-Verdampfer.
Wärmespeicher	Solus II Kombispeicher, 560-1'000 Liter oder anlagenspezifisch
Backup Heizung	7.5 kW Elektro-Heizstab oder anlagenspezifisch

Tabelle 10: Eckdaten des Energie Solaire SA Komplettsystems, basierend auf Consolar Solaera. Die Anlagen für Grossprojekte werden auf Mass dimensioniert.

5.3.1 Kollektor

Energie Solaire SA setzt einen unverglasten, selektiv beschichteten Edelstahlkollektor ein. Die Kollektoren können aufgeständert werden ("Kollektor AS", Abbildung 35 links) oder als Dachersatz in die Dachhaut integriert werden ("Solardach AS" Abbildung 35 rechts). Das Solardach AS erfüllt die Anforderungen in Bezug auf Dichtheit und Langlebigkeit wie handelsübliche Dachabdeckungen (Abbildung 36).

Der Kollektortyp erreicht höhere Arbeitstemperaturen als der Viessmann Kunststoffabsorber und kann direkt Nutzwärme für die Heizungsunterstützung oder BWW-Vorwärmung liefern. Für die direkte BWW-Aufbereitung ist der Wirkungsgrad wegen der fehlenden Verglasung zu tief (siehe auch Kapitel 3.1). Tabelle 11 zeigt die wichtigsten Eckdaten. Ein technisches Datenblatt ist im Anhang 7 beigelegt.

Höhe x Breite	2.37 x 0.87 m (andere Modulgrössen "auf Mass" erhältlich)
Aperturfläche	1.99 m ²
Stillstandstemperatur	ca. 109°C bei 1'000 W/m ²
Kollektorneigung	5°-90° Aufständerung oder Aufdach-Montage
Besonderes	Diagonal durchströmter Kissen-Absorber aus Edelstahl. Die Solardach AS Variante wird als Dachhaut-Ersatz (Witterungsschutz) eingesetzt.
Wirkungsgradkurve solar, Zertifizierung	Solar Keymark und EN 12975 zertifiziert a0 = 0.897, a1 = 10.91

Tabelle 11: Eckdaten des Energie Solaire AS Kollektors



Abbildung 35: Energie Solaire Kollektoren; links: Kollektor AS, aufgeständert (Bild: Energie Solaire SA); rechts: 25 m² Solardach AS, dachintegriert, kombiniert mit Solaera Eisspeicher-Wärmepumpe (Bild: Weisskopf Partner GmbH)



Abbildung 36: Kollektordach AS von Energie Solaire SA (Bild: Energie Solaire)

5.3.2 Gesamtsystem

Einbindung und Betriebsweisen der Standardanlage sind identisch mit dem Consolar Solaera System, ausser dass die Wärme vom Kollektor nicht direkt auf BWW-Temperaturniveau genutzt werden kann. Als Steuerung wird ebenfalls der Solaera-Systemregler eingesetzt. Die Regelung von Spezialanlagen ist von Energie Solaire entwickelt. In Abbildung 37 ist das Hydraulikschema des Solaera/Energie Solaire Systems gezeigt.

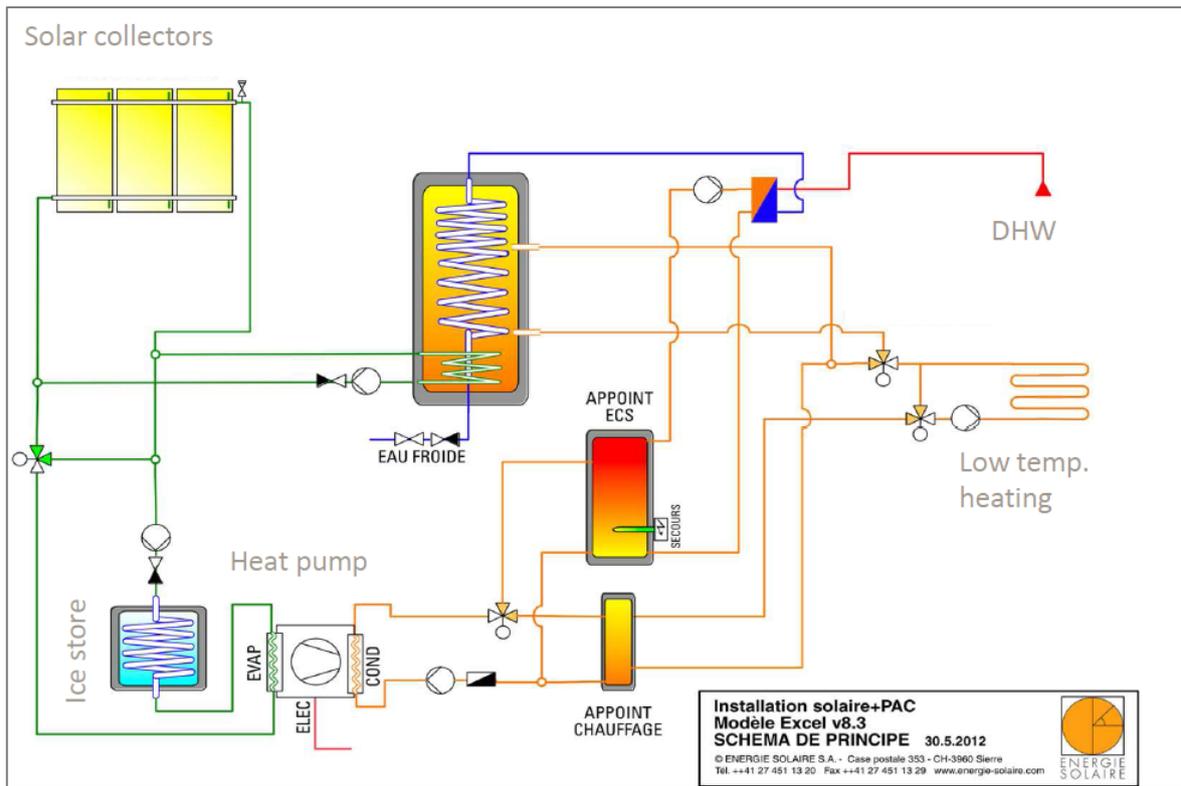


Abbildung 37: Hydraulik-Schema des Solaera-Systems mit Solardach AS von Energie Solaire SA (Thissen und Cuvillier, 2012). Die Solarkollektoren und der Eisspeicher sind in Serie geschaltet. Solarwarme kann direkt in den Heizungsspeicher geladen werden.

5.3.3 Auslegungstools

Energie Solaire legt Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen selber, mit im Haus entwickelten Excel Tools aus. Es gelten die gleichen Aussagen wie bei Consolar. Die Anlage kann mit Polysun simuliert werden, allerdings noch ohne das Steuerungsmodul, welches von Consolar eingesetzt wird. Das ist eine deutliche Einschränkung, da die Steuerung einen grossen Einfluss auf den Anlagenertrag hat. Eine Zusammenarbeit mit Vela Solaris und eine vollständige Abbildung des Consolar/Energie Solaire Systems in Polysun ist erwünscht, aber aktuell noch nicht geplant.

5.3.4 Markt/Referenzen

Bis heute wurden 5 Anlagen für EFH und 7 Gross- oder Spezialanlagen realisiert (siehe auch Kapitel 6.2, Spezialanlage La Cigale). Dabei tritt Energie Solaire nicht nur als Lieferant auf sondern realisiert auch schlüsselfertige Komplettanlagen.

5.3.5 Betriebserfahrungen

Das Bundesamt für Energie BFE unterstützte die Realisierung, Feldtests und Erfolgskontrolle von zwei Eisspeicher-Anlagen von Energie Solaire in Savièse im Wallis (Energie Solaire, 2012 / Graf und Thissen, 2012). Die Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) hat die Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlage an einem der beiden EFH ebenfalls ausgewertet und mit Simulationen für andere Anlagenkonzepte Vergleiche angestellt (Kalberer et al., 2011). Die Rahmenbedingungen sind: Sehr gut besonnte Lage im Wallis auf 850 m, Niedertemperaturheizung, relativ tiefer BWW-Verbrauch. Die Anlage umfasst 30 m² Kollektorfläche, die Solaera "Energiezentrale" und einen 1'000 Liter Pufferspeicher. Die wichtigsten Resultate der FHNW Untersuchung sind:

- Wärmepumpen-JAZ = 3.7, vergleichbar mit einer Erdsonden-Wärmepumpe
- Wärmeerzeugernutzungsgrad WNG = 5.5
- Systemnutzungsgrad SNG = 4.0, deutlich tiefer als der WNG weil nur die bezogene Wärme eingerechnet wird, nicht aber die Solar erzeugte, aber nicht bezogene Wärme (Überproduktion im Sommer).
- Die Simulation einer Erdsonden-Wärmepumpe für das gleiche Objekt mit Polysun resultiert in einer JAZ = 3.6, also knapp gleich hoch wie die Eisspeicher-Wärmepumpe.
- Eine Luft/Wasser-Wärmepumpe mit verglasten Flachkollektoren (ebenfalls 30 m²) erreicht zwar in der Simulation eine viel tiefere JAZ von 2.4, aber einen leicht höheren SNG von 4.2.

Die Temperaturen im Eisspeicher und am Verdampfereintritt wurden ebenfalls gemessen. In Abbildung 38, Abbildung 39 und Abbildung 40 ist ersichtlich, dass zwar eine Häufung von Temperaturen zwischen 0°C und 5°C auftritt, dass aber auch sehr häufig die Temperatur unter 0°C, bis auf -15°C fällt. Ca. 30% aller Stunden in denen die Wärmepumpe im Betrieb ist, fällt die Quellentemperatur unter 0°C, meistens in den Bereich -5°C bis -15°C.

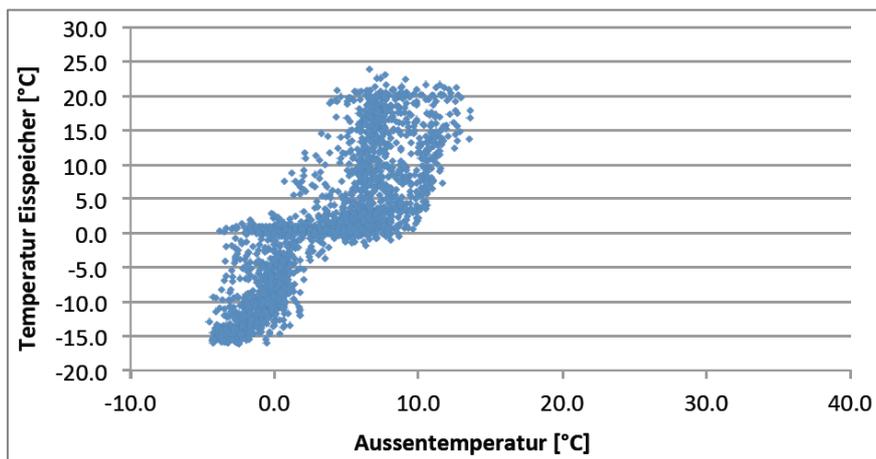


Abbildung 38: Eisspeicher-Temperaturen und Aussentemperaturen in der Energie Solaire / Conso-lar Anlage in Savièse während eines Betriebsjahres (Kalberer et al., 2011)

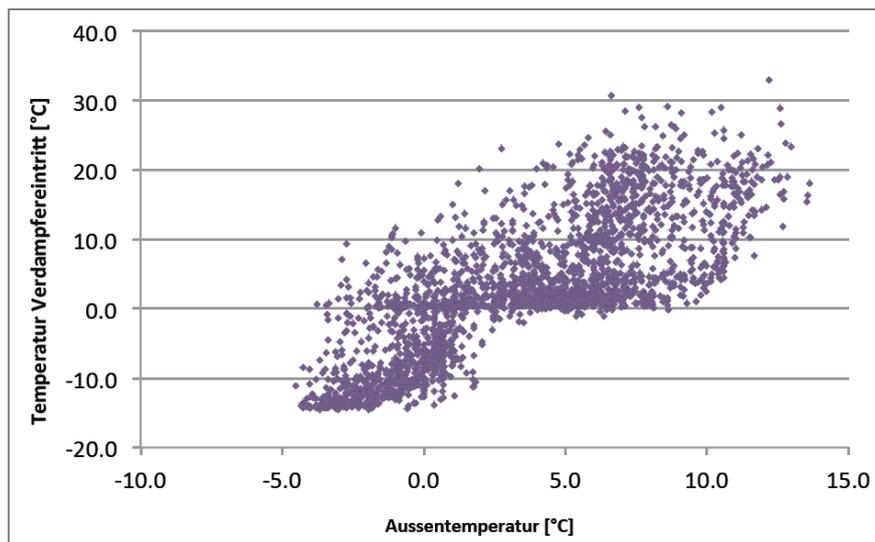


Abbildung 39: Verdampfereintritt-Temperaturen und Aussentemperaturen in der Energie Solaire / Consolar Anlage in Savièse während eines Betriebsjahres (Kalberer et al., 2011)

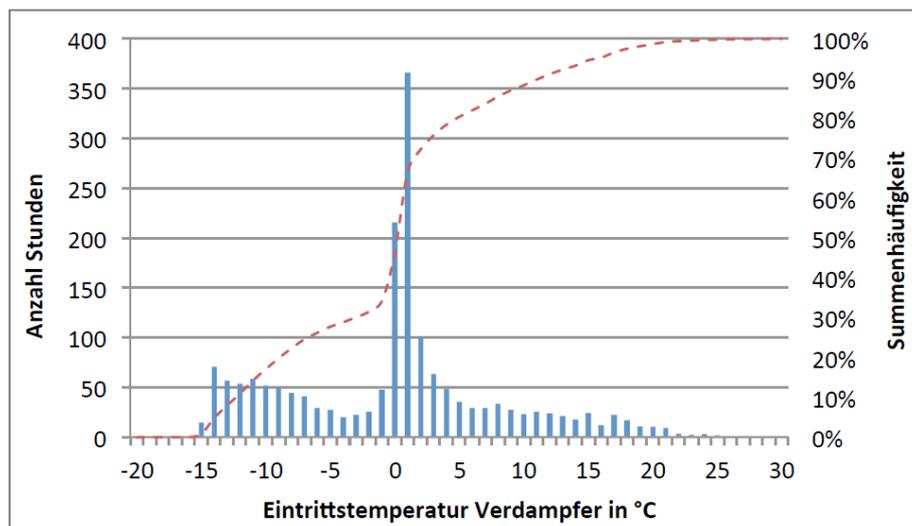


Abbildung 40: Anzahl Stunden und Summenhäufigkeit der Verdampfereintritt-Temperaturen in der Energie Solaire / Consolar Anlage in Savièse während eines Betriebsjahres (Kalberer et al., 2011)

Durch eine grössere Speicherkapazität könnte die JAZ der Wärmepumpe tendenziell gesteigert werden, allerdings auf Kosten des kompakten Formats der Solaera Energiezentrale.

6. Spezialanlagen

6.1 Pilotanlage SPF

Das Institut für Solartechnik SPF an der Hochschule Rapperswil untersucht Eisspeicher im Rahmen von zwei von den Elektrizitätswerken Jona-Rapperswil (EWJR) und vom Bundesamt für Energie (BFE) geförderten Forschungsprojekten.

- WP-Sol COP6+ (1/2012 - 12/2014): Entwicklung, Baubegleitung und Monitoring einer Pilotanlage mit neuartigem Konzept, welche Solarthermie, Wärmepumpe und einen Eisspeicher kombiniert, mit dem Ziel, in Kombination mit einer Niedertemperatur-Heizung eine Jahresarbeitszahl von mindestens 6 zu erreichen.

- High-Ice (4/2012 - 12/2014): Optimale Systemintegration von Eisspeichern und Abwasser-Wärmerückgewinnung in Wärmepumpen-Solar-Systemen. Inklusive Entwicklung neuer Wärmetauscher-Konzepte und Berücksichtigung von Umweltwirkungen und Primärenergie (Philippin et al., 2012c).

Ein in den 1960er Jahren erbauter Kindergarten mit ca. 35'000 kWh/a Wärmebedarf wurde für die Wärmeversorgung mit einer Eisspeicher-Wärmepumpe-Versuchsanlage ausgerüstet. Besonderheiten des Objekts sind hohe Vorlauftemperaturen bis 48°C (50% der Heizenergie über 37°C) und niedriger BWW-Verbrauch. Die Anlage besitzt einen Pufferspeicher mit 3,5 m³ Speichervolumen, eine Wärmepumpe mit 18 kW Nennleistung bei B2W45 und einen Eisspeicher mit 75 m³ Volumen. Zwei verschiedene Kollektortypen werden verwendet:

- 50 m² verglaste Sonnenkollektoren auf drei Flachdächern, hermetisch dicht für den Betrieb unter Taupunkt
- 14 m² unverglaste, selektive Sonnenkollektoren von Energie Solaire an der WSW Fassade

Bei dieser Versuchsanlage werden im Vergleich zu den Systemen von Viessmann, Consolar und Energie Solaire verschiedene neue Ansätze geprobt:

- Verwendung einer Kombination von verglasten Kollektoren und unverglasten Kollektoren
- Vergleichsweise sehr grosses Eisspeicher-Volumen: 75 m³ Volumen bei einer Wärmepumpen-Wärmeleistung von 18 kW. Von den 75 m³ sind 50 m³ vereisbar.
- Aufwärmen des Eisspeichers bis auf 50°C vor der Heizsaison und direkte Nutzung der Wärme zum Beginn der Heizsaison, bzw. heruntermischen der Temperatur für die Verwendung im Wärmepumpen-Verdampfer. Damit wird die Kapazität des Speichers weiter erhöht. Die maximale Kapazität (latent und sensibel) des Speichers entspricht einer Laufdauer der Wärmepumpe von 628 Stunden, bzw. 5 Wochen (mit 18 h/Tag Wärmepumpenlaufzeit), im Vergleich mit rund einer Woche beim Viessmann System und 7 Stunden beim Consolar Solaera System.
- Verwendung von flächigen Edelstahl-Wärmetauschern im Eisspeicher statt Kunststoffrohren für einen höheren Wärmeübergangskoeffizienten und einfachere Enteisung
- Enteisungsschaltung: Die vereisten Wärmetauscherflächen werden periodisch mit Wärme aus den Sonnenkollektoren oder dem Pufferspeicher enteist. Die dadurch entstehenden Eisplatten schwimmen im Eisspeicher auf und bewirken dadurch einen besseren Wärmeübergang im Wärmetauscher und höhere Verdampfertemperaturen in der Wärmepumpe. Mit vergleichsweise geringer Wärmetauscherfläche kann ein grosses Wasservolumen vereist werden.

Abbildung 41 und Abbildung 42 zeigen schematisch die Komponenten und Energieströme der Anlage.

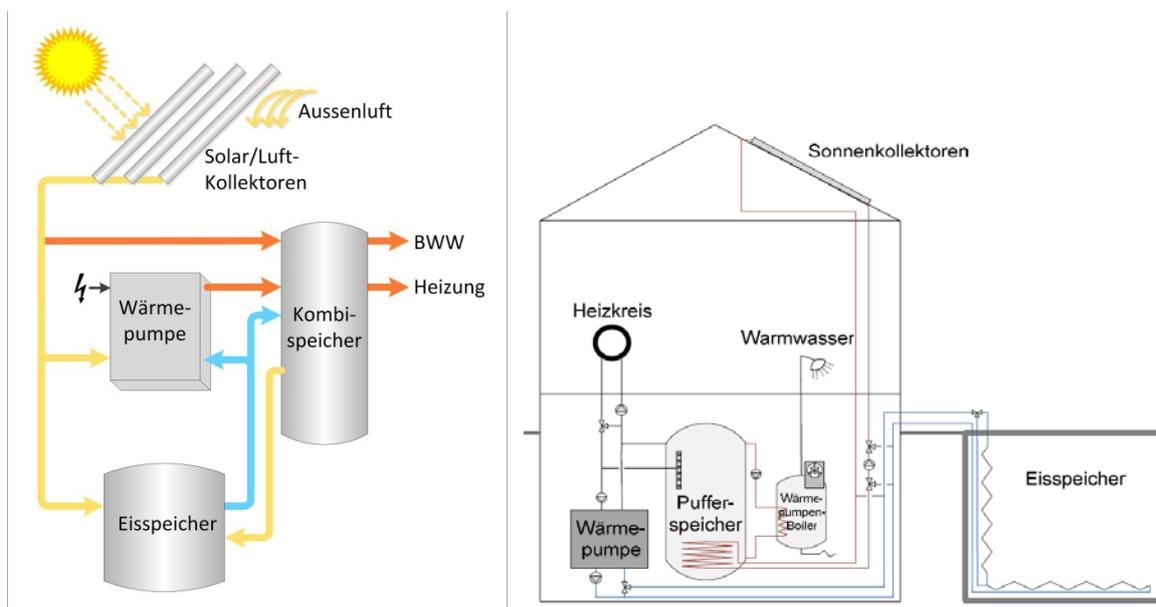


Abbildung 41 links: SPF Pilotanlage Gesamtsystem; rechts: Vereinfachtes hydraulisches Schema (Philippen et al., 2012a)

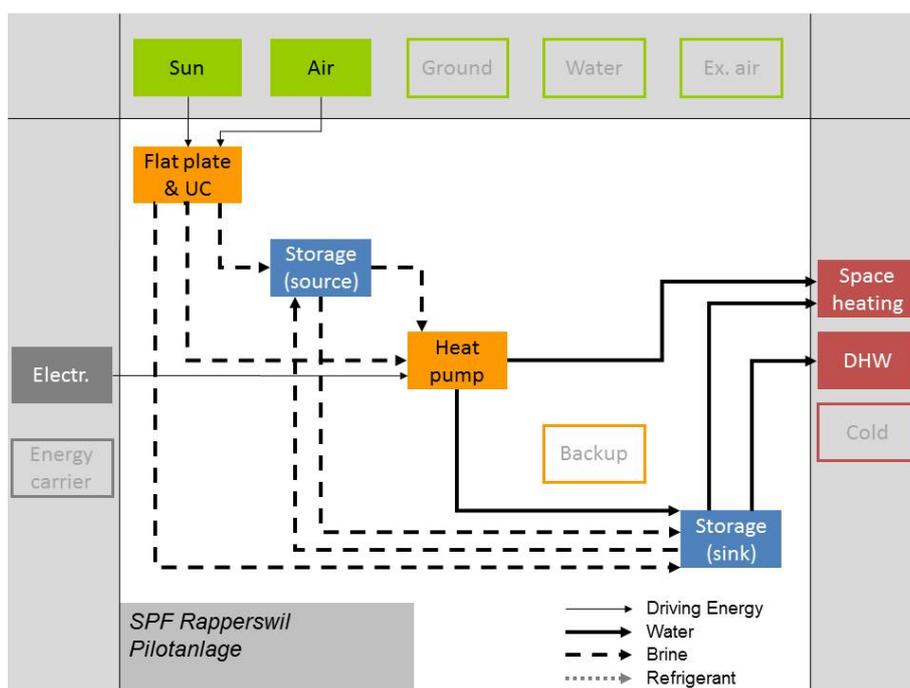


Abbildung 42: SPF Pilotanlage in IEA SHC Task 44 Blockschem-Darstellung

Abbildung 43 bis Abbildung 45 zeigen die Kollektoren und den Eisspeicher der Versuchsanlage. Als Wärmetauscher im Eisspeicher dienen Wärmetauscher-Platten von Energie Solaire, welche aufrecht im unteren Bereich des Speichers und an einer Seitenwand installiert sind. Die Wärmeüberträger an der Seitenwand ermöglichen eine geschichtete Be- und Entladung des Speichers. In Abbildung 46 ist der Effekt der Enteisung auf den Wärmeübergangskoeffizienten und die Verdampfertemperatur ersichtlich.



Abbildung 43: Kollektoren der Pilotanlage mit Eisspeicher des SPF in Rapperswil (Philippen, 2013)



Abbildung 44: 75m³ Eisspeicher der SPF Versuchsanlage mit flächigen Wärmetauschern im unteren Bereich und an den Seitenwänden (Philippen, 2013)



Abbildung 45: Links: Teilweise gefüllter 75 m³ Eisspeicher der Versuchsanlage des SPF. Auf der Wasseroberfläche ist Eis zu erkennen, dass durch "de-icing" von den Kollektoren abgelöst wurde; rechts: Unterwasseraufnahme mit vereisten Wärmetauschern und abgelösten Eisplatten im Wasser (Philippen, 2013)

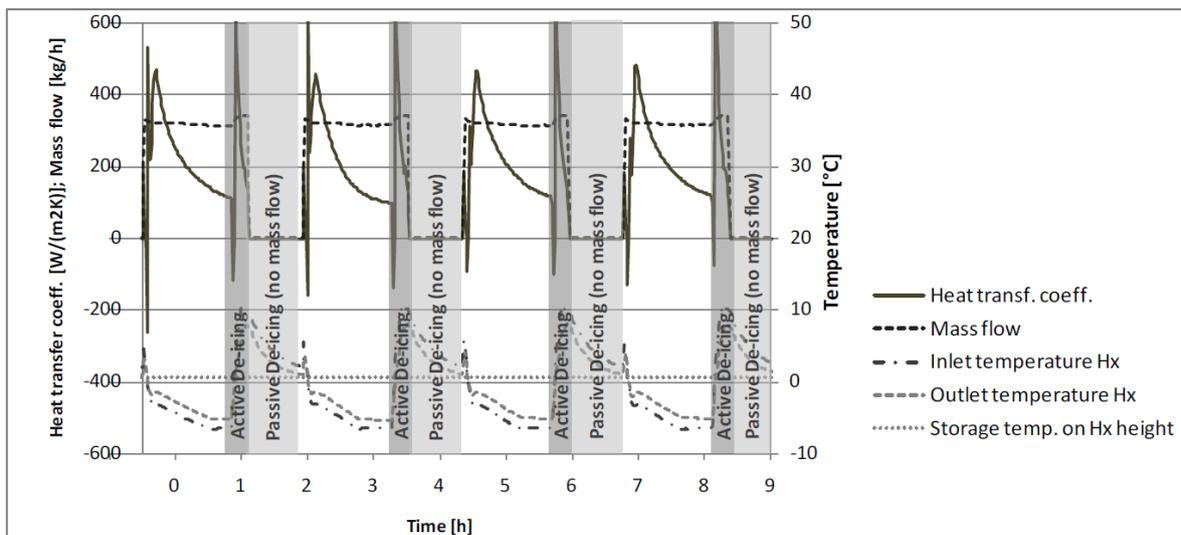


Abbildung 46: Periodisches aktives Enteisen der Wärmeüberträger. Durch kontinuierlichen Wärmezug (konstanter Massenstrom im Wärmeüberträger, ca. 330 kg/h, gestrichelte Linie) nehmen die Temperatur des Wärmeträgers auf ca. -6°C und der Wärmedurchgangskoeffizient auf $100\text{ W/m}^2/\text{K}$ ab. Durch aktive Enteisung wird der "eisfreie" Wärmedurchgangskoeffizient von ca. $450\text{ W/m}^2/\text{K}$ wieder hergestellt.

Resultate des ersten Betriebsjahres zeigen, dass trotz hohen Heizungs-Vorlauftemperaturen ein SNG von 5.0 erreicht wird. Mit einer Niedertemperaturheizung würde mit dem gleichen System ein SNG von ca. 6 erreicht. Weitere, detaillierte Auswertungen wurden noch nicht veröffentlicht.

6.2 La Cigale (Energie Solaire SA)

Die Wohnüberbauung La Cigale in rue Vermont / rue Vidollet, Genève, wurde im Jahre 1952 gebaut. Das Objekt besitzt 273 Wohnungen mit einer gesamten Energiebezugsfläche von $19'211\text{ m}^2$. Eine Gebäuderenovierung nach Minergie P-Standard führt zur Verringerung des spezifischen Energiebedarfs von $202\text{ kWh/m}^2/\text{a}$ auf $30\text{ kWh/m}^2/\text{a}$.

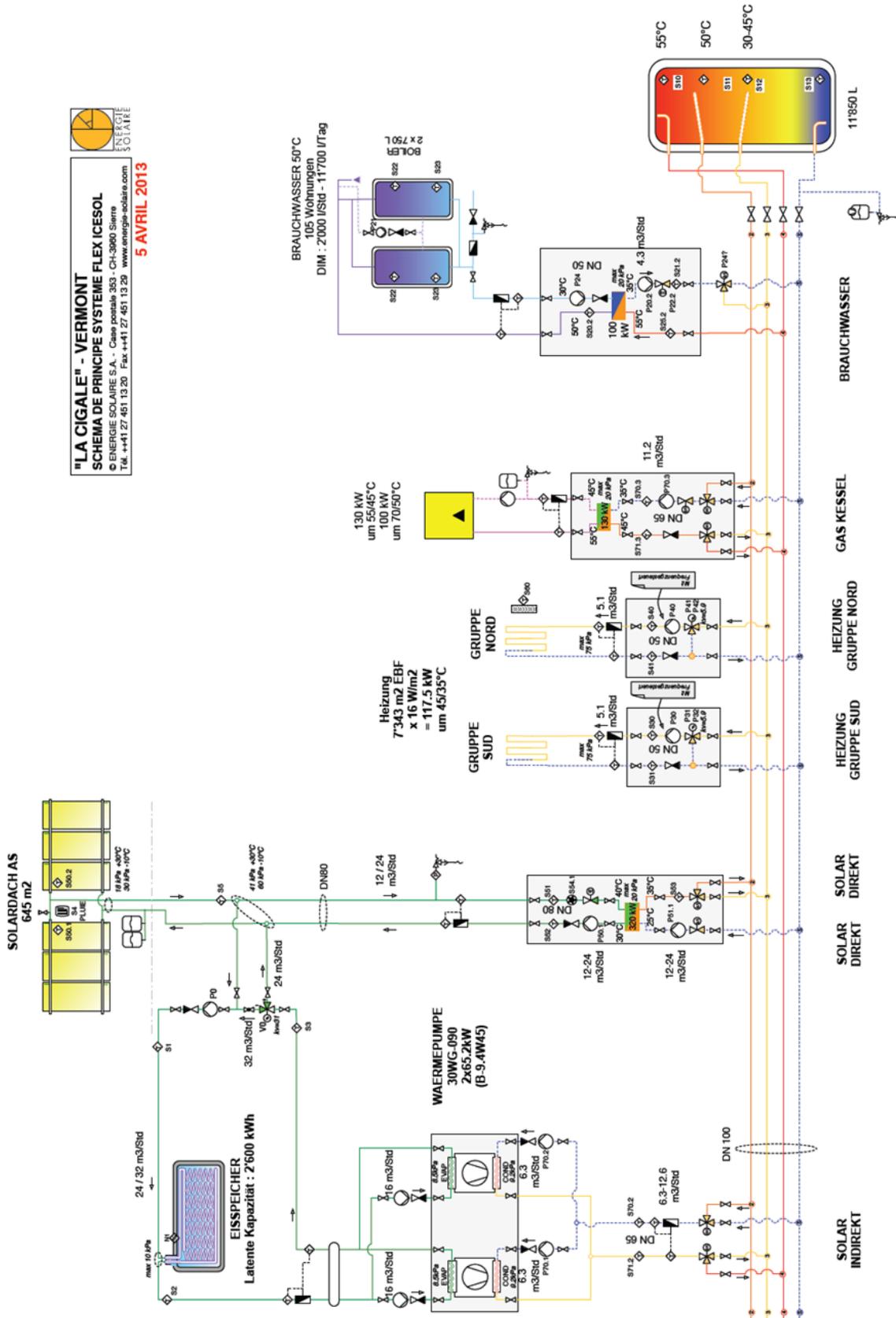
Als primäre Wärmequelle dienen $1'680\text{ m}^2$ unverglaste Solarkollektoren von Energie Solaire (Solardach AS). Die Kollektoren werden als direkte Wärmequelle für die fünf Wärmepumpen mit je 100 kW Leistung genutzt oder regenerieren die zwei 30 m^3 Eisspeicher von Fafco.



Abbildung 47: Links: Wohnüberbauung La Cigale in rue Vermont / rue Vidollet; rechts: Unverglaste Solarkollektoren als Dachersatz (Solardach AS, Bilder: Energie Solaire SA)

Abbildung 48 zeigt das Hydraulik-Schema eines Teils der Anlage. Die Solaranlage und der Eisspeicher sind im Prinzip gleich eingebunden wie bei einer Standard-Anlage von Conso-lar bzw. Energie Solaire (vgl. Abbildung 33 und Abbildung 37). Solarkollektoren und Eis-speicher sind in Serie geschaltet, d.h. der Eisspeicher wird, wie im Solaera System, im Wärmepumpen-Betrieb immer durch die Solarkollektoren regeneriert.

Die Energieverteilung wird über das FLEX-System von Energie Solaire gesteuert. Das FLEX-System sorgt dafür, dass der Energiespeicher durch die verschiedenen Wärme-quellen und Wärmebezüger optimal beladen bzw. entladen werden kann.



"LA CIGALE" - VERMONT
SCHEMA DE PRINCIPE SYSTEME FLEX ICESOL
© ENERGIE SOLAIRE S.A. - Case postale 353 - CH-3960 Sierra
Tél. ++41 27 461 13 20 - Fax ++41 27 461 13 20 www.energie-solaire.com
5 AVRIL 2013

Abbildung 48: Hydraulikschemata der Eisspeicher-Anlage für die Wohnüberbauung La Cigale in Vermont (Energie Solaire SA)

6.3 Andere Grossanlagen

Drei Beispiele für Grossanlagen sind im Folgenden mit Eckdaten aufgeführt. Betriebserfahrungen und Nutzungsgrade der Anlagen stehen (noch) nicht zur Verfügung oder wurden nicht weiter recherchiert.

6.3.1 Firmensitz Ecolab Monheim (D)

Aktuell weltgrösste Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlage.

Objekt	Firmensitz von Ecolab in Monheim, Deutschland
Planer	PBS & Partner
Heizleistung	840 kW Heizleistung
Kollektortyp und -Fläche	66 Niedertemperatur-Kollektoren, ca. 550 m ² (Abbildung 50)
Eisspeichertyp und -Volumen	1'800 m ³ Eisspeicher, 20 m × 25 m × 5 m (Abbildung 49)
Einbindung	Seriell- und Parallelbetrieb der Kollektoren
Zusatzheizung	Zwei Gaskessel zur Spitzenlastdeckung, 495 kW
Kühlung	Kühlung über Eisspeicher oder über Wärmepumpe
Projektstand	In Betrieb seit Ende 2013



Abbildung 49: Links: Eisspeicher von Ecolab in Monheim (D), Dimension 20 m × 25 m × 5 m); rechts: Isocal-Rohrbündelwärmetauscher im Innern des Eisspeichers (Bilder: www.pbs-partner.de)



Abbildung 50: PE-Schlauch Kollektoren auf dem Dach von Ecolab, Monheim (D); 66 Kollektoren mit ca. 550 m² (projizierter) Fläche. Mehrere Schlauchebenen zur Erhöhung der Wärmetauscherfläche

6.3.2 ewz Energiedienstleistungen, MFH Eichweg Niederglatt

Objekt	Eichweg 5, Niederglatt Mehrfamilienhaus
Bauherr, Planer	ewz Energiedienstleistungen, KWT Kälte-Wärmetechnik AG
Heizleistung	34 kW
Kollektortyp und -Fläche	90 m ² Energie Solaire, selektive unverglaste Kollektoren (AS)
Eisspeichertyp und -Volumen	Isocal, Behältervolumen 116 m ³ , Wasservolumen 92 m ² , vergraben
Einbindung	Serielle und parallele Einbindung: Kollektorwärme zur Regeneration Eisspeicher, als Quelle für Wärmepumpen-Verdampfer und zur BWW-Aufbereitung
Zusatzheizung	Keine (monovalent)
Kühlung	Keine
Projektstand	Inbetriebnahme im Herbst 2014



Abbildung 51: 116 m³ Eisspeicher von Isocal während des Ausbaus

6.3.3 Baugenossenschaft Waidberg, MFH Seminarstrasse Zürich

Objekt	Mehrfamilienhaus, Seminarstrasse, Zürich
Bauherr, Planer	Baugenossenschaft Waidberg, Meierhans + Partner
Heizleistung	62 kW
Wärmepumpen-Heizleistung	42 kW
Kollektortyp und -Fläche	90 m ² Energie Solaire, selektive unverglaste Kollektoren (AS)
Eisspeichertyp und -Volumen	FAFCO, 9 m ³ Behältervolumen, 6 m ³ Wasservolumen, im Keller aufgestellt
Einbindung	Serielle und parallele Einbindung: Kollektoren speisen Eisspeicher und/oder direkte BWW-Ladung
Zusatzheizung	Gaskessel 35-90 kW
Kühlung	Keine
Besonderes	Rauchgas-Abwärmenutzung in Eisspeicher
Projektstand	Im ersten Betriebsjahr



Abbildung 52: Links: 90 m² Energie Solaire AS Kollektorfeld auf Schrägdach; rechts: Innenaufgestellter FAFCO Eisspeicher, 9 m³ Behältervolumen

7. Zusammenfassung Stand der Technik

7.1 Klassifizierung

Heute angebotene, bzw. gebaute Eisspeicher-Solar-Wärmepumpen lassen sich anhand der Merkmale Eisspeicherkapazität, Kollektortyp, Einbindung der Kollektorwärme und Standardisierungsgrad grob klassifizieren:

	Klassifizierung	Bemerkungen / Beispiel
Eisspeicherkapazität	Wenige Stunden bis 1 Tag	Eisspeicher puffert nur die kurzfristigen negativen Temperaturspitzen weg. Ausgleich Tag/Nachttemperaturen. Innenaufstellung möglich. Bsp: Consolar Solaera, 320 Liter Speicher
	Mehrere Tage bis 1 Woche	Ausgleich von mehrtägigen Kälteperioden, Speicherung von Solarertrag über mehrere Tage. Konstantere, günstige Verdampfer Temperatur in Zwischensaison. Bsp: Viessmann, 9.6 m ³ Speicher
	Mehrere Wochen bis 1 Monat	Langfristige Speicherung, bereits ansatzweise saisonale Verschiebung Bsp: SPF Pilotanlage, 75 m ³ Speicher
Kollektor-Wirkungsgradkurve	Bis ca. 20°C effizient	Ausschliesslich für Wärmepumpen-Verdampfer und Eisspeicher Regeneration verwendbar Bsp. Viessmann Solar-Luft Absorber
	Bis ca. 45°C effizient	Zusätzlich für Raumheizung oder BWW-Vorwärmung direkt verwendbar Bsp. Energie Solaire Kollektor AS
	Bis ca. 70°C effizient	Zusätzlich direkt für BWW-Aufbereitung nutzbar Bsp. Consolar Solaera Hybridkollektor
Einbindung der Kollektorwärme (Kombination von mehreren Einspeisepunkten)	Eisspeicher Regenerierung	Bei allen Konzepten
	Wärmepumpe-Verdampfer	Bsp. Viessmann
	Raumheizung direkt	Bsp. Energie Solaire, Consolar Solaera
	Brauchwarmwasser direkt	Bsp. Consolar Solaera
Standardisierungsgrad	Klein-/Komplettanlage	Standardkomponenten und -dimensionierung, abgestimmtes Paket, Standardsteuerung
	Gross-/Spezialanlage	Detaillierte Anlagenplanung, von Fall zu Fall dimensioniert und abgestimmt, anlagenspezifische Steuerung

Tabelle 12: Grobklassifizierung der Eisspeicher-Wärmepumpen-Konzepte

Je nach Ansatz, welche vom Anbieter (Komplettanlage) oder vom Planer (Spezialanlage) verfolgt wird, werden diese "Merkmale" verschieden kombiniert. Grundsätzlich haben alle Ansätze ihre Machbarkeit bei zufriedenstellenden Anlagenwirkungsgraden demonstriert, jeweils aber mit spezifischen Vor- und Nachteilen.

7.2 Eisspeicher

Eisspeicher sind grundsätzlich einfache und robuste Komponenten. Probleme mit Rissen durch Eisausdehnung, Verschlammung, Undichtigkeit oder anderem erhöhtem War-

tungsaufwand treten in Anlagen der aktuellen Generation bisher nicht auf. Allerdings fehlen noch langfristige Erfahrungen über die ganze Lebensdauer. Eisspeicher mit Kunststoffrohr-Wärmetauschern sind heute Stand der Technik. Allerdings sind heute nur wenige Standardlösungen auf dem Markt und in der Materialwahl, Konzeption, Dimensionierung und Betrieb der Wärmetauscher sind höchstwahrscheinlich noch Optimierungspotenziale vorhanden. Viessmann und Consolar gehen zwei verschiedenen Wege in Bezug auf spezifische Wärmetauscheroberfläche und Einbindung des/der Wärmetauscher für Entladung und Regeneration (Kapitel 5.1.4 und 5.2.4). Die SPF Pilotanlage geht in dieser Hinsicht über den heutigen Stand der Technik hinaus und zeigt interessante Potenziale auf (siehe auch Kapitel 9.1).

7.3 Kollektoren

In Kombination mit Eisspeichern kommen Kollektoren zum Einsatz, welche auch niedrigtemperaturige Umgebungswärme effizient nutzen können. Sowohl passive Nutzung durch unverglaste Kollektoren als auch aktive Hinterlüftung mit Ventilator sind Stand der Technik (siehe Kapitel 3.1). Wenn verglaste Standard-Kollektoren (mit) eingesetzt werden, müssen diese hermetisch dicht sein. Solche Flachkollektoren sind heute auf dem Markt erhältlich. Während die Kollektoren bewährte Komponenten sind, müssen Kollektortyp, die Dimensionierung in Bezug auf Eisspeicher, Wärmeleistung und Wärmebedarf sowie die Einbindung und Steuerung auf das Gesamtkonzept abgestimmt sein. Gesamtpakete, bzw. Kompletanlagen aus einer Hand sind daher für kleinere Objekte vorzuziehen.

7.4 Dimensionierung

Die Wärmepumpe wird im monovalenten Betrieb wie bei anderen Wärmepumpensystemen auf die maximale Heizlast ausgelegt.

Wenn die Kollektoren nur zur Regenerierung des Eisspeichers und als Quelle für die Wärmepumpe genutzt werden, wie z.B. beim Viessmann System, werden typischerweise 1.5 - 2 m² Kollektorfläche pro kW Heizleistung installiert. Wenn die Kollektorwärme direkt zur Heizungsunterstützung und ev. BWW-Aufbereitung verwendet werden kann, werden grössere Kollektorflächen eingesetzt, z.B. typischerweise 2-4 m² Kollektorfläche pro kW Heizleistung beim Solaera und Energie Solaire System. Noch grössere spezifische Kollektorflächen für einen höheren direkten solaren Deckungsgrad sind ebenfalls möglich.

Die Dimensionierung des Eisspeichers variiert je nach Konzept, wie oben bereits beschrieben, zwischen mehreren Stunden bis zu knapp einer Woche Speicherkapazität bei Komplettsystemen und mehreren Wochen bei Spezialsystemen. 1 m³ Speicher pro 1 kW Heizleistung entspricht rund 1 Woche Speicherkapazität ohne Regeneration.

7.5 Betriebsparameter/Regelung

Eine optimierte und korrekt funktionierende Anlagenregelung ist zentral für die effiziente Funktion einer Eisspeicher-Wärmepumpe. Das ist zwar auch in anderen Anlagen der Fall. Eine Eisspeicher-Wärmepumpe ist aber komplexer und die Anforderungen an die Regelung sind höher. Mehrere Betriebszustände müssen intelligent geschaltet werden:

- Regeneration Eisspeicher
- Wärmebezug aus Eisspeicher
- Nutzung der Kollektorwärme direkt, im Wärmepumpen-Verdampfer oder zur Regeneration

- Schaltung der Wärmepumpe (Laufzeiten)
- Legionellenschutzschaltung
- Ev. Vorlauftemperaturmanagement

Standardisierte Komplettanlagen haben den Vorteil, dass auf die Anlage abgestimmte Regelungen zum Einsatz kommen. Anlagekomponenten und Regelung kommen aus einer Hand. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass es auch in Komplettanlagen nicht selbstverständlich ist, dass die Anlage optimal funktioniert. Insbesondere bei Anlagen, bei denen Hydraulik und Sensorik vor Ort installiert und angeschlossen werden, sollte eine verlängerte Inbetriebnahmephase mit ggf. Optimierung der Einstellungen und Demonstration der korrekten Funktion zum Angebot gehören.

Bei Spezialanlagen mit projektspezifischen Regelungen ist es wichtig, dass der Planer und der Regelungsbauer Erfahrung mit Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen mitbringen, bzw. auf solche Erfahrungen zurückgreifen. Heute besteht noch wenig solches Know-How. Die Anlage sollte nach der Inbetriebnahme über mindestens eine ganze Saison ausgewertet und optimiert werden.

7.6 Nutzungsgrade

Einerseits wurden in verschiedenen Studien theoretisch unter Praxisbedingungen erzielbare Nutzungsgrade in Simulationen berechnet, andererseits sind auch verschiedene Anlagen vermessen worden um effektive Nutzungsgrade zu ermitteln.

Die Ergebnisse einer Simulationsstudie der Fachhochschule Nordwestschweiz (Afjei und Winteler, 2013) zeigen für das Viessmann-System je nach Wärmebedarf WNG von 3.7 bis 4.2. Der niedrigste Wert von 3.7 wird für ein Niedrigenergiehaus mit 15 kWh/m²/a Wärmebedarf und 30°C Vorlauftemperatur erreicht, der beste Wert von 4.2 bei 45 kWh/m²/a Wärmebedarf und 35°C Vorlauftemperatur. Die Variante mit 100 kWh/m²/a Wärmebedarf und 48°C Vorlauftemperatur erreicht immer noch einen WNG von 4.0. Ein mit Messwerten kalibriertes Simulationsmodell der ITW Stuttgart für das Consolar Solara System errechnet einen Systemnutzungsgrad SNG von 5.0 für den Betrieb unter Referenzbedingungen. Ein unabhängiger Feldtest über ein Jahr (2013/14) wies für das Consolar Solara System in einem Niedrigenergiehaus einen System-Nutzungsgrad von 5.6 nach. SPF berechnet nach einem Jahr Messungen an der Pilotanlage und Feinkalibrierung des Simulationsmodells mit einem SNG von 6.0 beim Einsatz desselben Konzepts mit einer Niedertemperaturheizung. Gemessen wurde ein SNG von 5.2 bei 48°C maximaler Vorlauftemperatur.

Wie auch die Erhebung an reinen Solar-Wärmepumpen im Rahmen des IEA SHC Task 44 gezeigt hat, liegen die in der Praxis erreichten Nutzungsgrade zwar in vielen Fällen unter dem gemäss Simulationen erwarteten optimalen Nutzungsgrad. Grund dafür sind zum Beispiel Mängel in der Abstimmung der Komponenten oder in der Steuerung oder aber ungünstige Rahmenbedingungen (Verbraucherseitig, klimatisch, etc.).

Messungen an bestehenden Eisspeicher-Wärmepumpen-Standardanlagen zeigen eine relativ grosse Streuung der Nutzungsgrade, teilweise wegen unterschiedlicher Verbrauchercharakteristik, teilweise aber auch wegen nicht optimalem Betrieb.

Die Messungen und Betriebserfahrungen bestätigen jedoch, dass mit den heute erhältlichen Systemen mit korrekt dimensionierter Eisspeicher-Wärmepumpe ähnliche Wärmepumpen-JAZ erreicht werden wie mit Erdsonden-Wärmepumpen. Das gleiche gilt für sorgfältig geplante Spezialanlagen. Die Systemnutzungsgrade SNG können bei direkter Nutzung des Solarkollektorertrags im Parallelbetrieb deutlich über dem SNG von Erdson-

den-Wärmepumpen liegen. Dafür sind aber grösser dimensionierte Kollektorflächen und Kollektoren mit guten solaren Wirkungsgraden erforderlich (selektiv, ev. verglast).

Grössere Eisspeicher und optimiertes Eisspeicher-Management wirken sich positiv auf die JAZ aus. Effiziente Kollektoren und grosse Kollektorfelder erhöhen den SNG.

7.7 Marktreife

Die Eisspeicher-Wärmepumpen-Technologie ist insofern marktreif, als es drei Anbieter gibt, welche Standard-Pakete liefern können und auch in der Schweiz vertreten sind. Diese Standard-Anlagen sind bereits mehrere Jahre auf dem Markt. Isocal (jetzt Teil der Viessmann Gruppe) hat bereits mehrere hundert Anlagen installiert, Consolar bereits über hundert und Energie Solaire über zehn. Einige der Anlagen wurden über längere Perioden von unabhängigen Parteien begleitet und vermessen. Obwohl zum Teil noch Optimierungspotenzial vorhanden ist, funktionieren die Anlagen zuverlässig mit gutem Nutzungsgrad (siehe 7.6).

Trotz diesen guten Erfahrungen und dem kommerziellen Angebot steht die Technologie noch in der Markteinführung.

Es gibt noch keine langfristigen Erfahrungen über die ganze Lebensdauer mit der Haltbarkeit der Eisspeicher im Betrieb mit Wärmepumpen. Die ersten Anlagen kamen erst vor ca. acht Jahren auf den Markt.

Es gibt erst zwei Angebote von Standardanlagen/Komplettanlagen (Viessmann und Consolar). Energie Solaire greift weitgehend auf die Consolar Komplettanlage zurück. Die beiden Anbieter verfolgen verschiedene Ansätze mit dem Eisspeicher, den Kollektoren und der Einbindung. Das heisst für den Endkunden wenig Auswahl und für die Technologie wenig Wettbewerb.

Die Ansätze in der Forschung und z.B. in der SPF Demoanlage lassen vermuten, dass noch deutliche Steigerungen in den Nutzungsgraden möglich sind.

Die Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass auch mit heute gebauten Anlagen z.T. noch Schwierigkeiten in der Inbetriebnahmephase auftreten können. Die Regelungen müssen noch weiter standardisiert und fehlersicherer werden.

Es ist zu erwarten, dass mit wachsendem Markt weitere Anbieter auftreten, die Technologie weiterentwickelt wird und mit zunehmender Langzeiterfahrung das Vertrauen in die System wächst, bzw. noch Kinderkrankheiten korrigiert werden können, welche erst nach langer Betriebsdauer auftreten.

Schliesslich ist die Frage der Marktreife und des Marktpotenzials auch eine Frage der Wärmekosten. Dieser Aspekt wird in der vorliegenden Studie nicht bearbeitet.

8. Einsatzbereich und Erfolgsfaktoren

Grundsätzlich gelten bezüglich Vorlauftemperaturen dieselben Machbarkeitskriterien, welche auch für Sole/Wasser- und Luft/Wasser-Wärmepumpen gelten. Zusätzlich muss der Platz für die Einbringung des Eisspeichers und die Aufstellung der Kollektoren zur Verfügung stehen. Im Gegensatz zu Erdsonden-Wärmepumpe ist der grosse Vorteil von Eisspeicher-Wärmepumpen, dass keine Sondenbohrungen nötig sind. Der Einsatz von Eisspeicher-Wärmepumpen ist darum besonders interessant, wo keine Möglichkeit oder keine Genehmigung für das Einbringen von Erdsonden besteht.

8.1.1 Vorlauftemperaturen

Tiefe Vorlauftemperaturen für die Heizung sind zu bevorzugen. Die Kombination von bei tiefer Temperatur betriebenen kleinem Eisspeicher und hoher Vorlauftemperatur sind zu vermeiden. In Kombination mit grossem Eisspeicher ist die Wärmepumpe tendenziell toleranter gegenüber hohen Vorlauftemperaturen, da die Quelltemperatur typischerweise weniger tief absinkt. Die Einsatzgrenzen und Charakteristiken sind aber Systemabhängig und es können keine allgemeingültigen Regeln aufgestellt werden.

8.1.2 Platzbedarf Eisspeicher

Mittlere und grosse Eisspeicher (z.B. Viessmann 10 m³, SPF 75 m³) müssen ins Erdreich versenkt werden. Der Platz dafür muss verfügbar sein. Kleine Eisspeicher (z.B. Solaera) können hingegen direkt im Heizungskeller aufgestellt werden.

8.1.3 Flächenbedarf und Ausrichtung Kollektoren

Für die aktuellen Komplettsysteme im Bereich von 6-17 kW sind je nach System und Auslegung typischerweise zwischen 9-30 m² Kollektorfläche zu installieren (je nach Kombination im Bereich 1.5 - 5 m²/kW)². Die geeignete Fläche dafür muss zur Verfügung stehen. Bei grösseren Spezialanlagen ist der Platzbedarf entsprechend höher, z.B. 64 m² Kollektorfläche für die 18 kW Wärmepumpe in der SPF Pilotanlage (ergibt 3.6 m²/kW). Wenn die Kollektoren in höherem Mass für direkt solare Heizungsunterstützung ausgelegt sind, kann, wie im Fall des beschriebenen Projekts La Cigale, der Platzbedarf auch deutlich höher sein (1'680 m² Kollektorfläche für 130 kW Wärmepumpe, ergibt 13 m²/kW).

Wenn möglich sollten die Kollektoren gegen Süden geneigt sein (SO-S-SW). Der Einfluss der Ausrichtung ist zwar bei Niedertemperatur-Absorbern, wie sie beim Viessmann System zum Einsatz kommen, weniger ausgeprägt, trotzdem ist auch bei diesem Typ Kollektor eine Südausrichtung effektiver.

8.1.4 Klima/Schnee

Eisspeicher-Solar-Wärmepumpen können in tiefen bis mittleren Lagen in der Schweiz grundsätzlich problemlos eingesetzt werden. Gewisse Einschränkungen bestehen bezüglich Schneebedeckung. Bei entsprechend konstruierten, aktiv hinterlüfteten Kollektoren (z.B. Solaera der neusten Generation) kann die Umgebungswärme auch bei schneebedecktem Kollektor noch genutzt werden. Bei Systemen mit kleinem Eisspeicher (z. B. Solaera oder Energie Solaire) dürfen die Kollektoren aber nicht längere Zeit mit Schnee bedeckt sein. In diesem Fall und bei unverglasten Kollektoren wird dies nur durch steile Aufstellung oder aktives Abtauen erreicht (mit ev. Einschränkung wegen Dachlawinengefahr). Absorber vom Typ "Schwimmbadkollektor" können nicht aktiv vom Schnee befreit werden.

In höheren Lagen mit kaltem Winter aber höherer Sonneneinstrahlung können daher vor allem Anlagen mit selektiven und/oder verglasten Kollektoren gut funktionieren, solange die Kollektoren meist schneefrei gehalten werden können.

² Herstelleraussage Viessmann: Die Absorberfläche ist abhängig vom Standort des Objektes - keine Pauschalaussage für die Schweiz seitens Viessmann.

8.1.5 Erfolgsfaktoren/Empfehlungen

Neben dem Einhalten des Einsatzbereiches in Bezug auf Verbrauchertemperaturen, Klima und Kollektoraufstellung haben die Erfahrungen gezeigt, dass folgende Aspekte wichtig sind und z.T. zu wenig berücksichtigt werden:

- Legionellenschutzschaltung minimieren oder wo möglich und sinnvoll abschalten (gilt für alle Wärmepumpen-Anlagen)
- Wenn möglich das BWW nicht ausschliesslich während der Nacht aufbereiten. Falls BWW auch direkt solar erwärmt wird, ist die Beladung mit der Wärmepumpe am Abend optimal, wenn der Solarertrag bereits bezogen worden ist.
- Sicherstellen, dass die Messtechnik korrekt installiert ist und funktioniert
- Regelung/Parametrisierung optimieren (bei Spezialanlagen), bzw. nach Inbetriebnahme überprüfen (bei Standardanlagen)
- Wo möglich Standardanlagen einsetzen, wo möglich alles aus einer Hand

9. Empfehlungen

9.1 Einschätzung und Potenzial

Eisspeicher-Wärmepumpen mit Sonnenkollektoren sind bereits heute im Praxisbetrieb klar effizienter als reine Luft/Wasser-Wärmepumpen und kommen bei korrektem Einsatz und Betrieb in den Nutzungsgrad-Bereich von Erdsonden-Wärmepumpen. Der Einsatz ist daher aus Sicht der Energieeffizienz sinnvoll, vor allem wenn Erdsonden-Bohrungen nicht möglich sind. Eisspeicher-Wärmepumpen mit grossen Kollektorflächen mit zusätzlicher Paralleleinbindung haben das sogar Potenzial für einen höheren Systemnutzungsgrad als bei Erdsonden-Wärmepumpen-Anlagen. Die Technologie ist noch relativ neu und es gibt noch ein klares Potenzial für weitere Steigerung des Nutzungsgrades durch Entwicklungen beim Eisspeicher, der Regelung und der optimalen Dimensionierung und Kombination von Komponenten. Eine grössere Verbreitung der Technologie könnte weitere Anbieter mit weiter entwickelten Varianten und Ansätzen auf den Markt bringen. Der Erfolg am Markt wird abhängig sein von:

- Preisgestaltung im Vergleich zu Luft/Wasser-Wärmepumpen und Erdsonden-Wärmepumpen, Wirtschaftlichkeit der Lösungen
- Förderungspolitik der öffentlichen Hand
- Der Zuverlässigkeit der Anlagen, guten Referenzen und damit Akzeptanz der Technologie
- Dissemination, Information, Know-how bei Planern und Systemanbietern

9.2 Forschung und Entwicklung

Beim heutigen Stand der Technologie, der Anwendungen und des Marktes gibt es einige interessante Fragestellungen für die Forschung. Hier ist eine Auswahl solcher Fragestellungen aufgeführt, welche sich während der Arbeit an dieser Studie ergeben haben:

- Eisspeicher-Volumen: Was ist der Einfluss des Eisspeichervolumens auf den Nutzungsgrad der Anlage, ev. in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen? Welches ist die optimale Eisspeicherkapazität (Volumen), für verschiedene Konzepte?

- Wie hoch ist der effektiv erreichte und erreichbare Vereisungsgrad der Eisspeicher bei bestehenden Systemen (z.B. Viessmann), wie hoch ist die effektive Speicherkapazität?
- Eisspeicher-Wärmetauscher: Welcher Typ Wärmetauscher mit welcher Oberfläche verspricht die besten Nutzungsgrade und die höchste Speicherkapazität (Vereisung)? Welche Einbindung, Platzierung und Durchströmung?
- Wieviel kann durch aktive Enteisung des Wärmetauschers im Eisspeicher gewonnen werden (siehe SPF Versuchsanlage)? Welches sind die erfolgversprechendsten Enteisungskonzepte?
- Höhere Temperaturen im Eisspeicher (wie sie in der SPF Versuchsanlage gefahren werden): Kann der Nutzungsgrad durch höhere Eisspeichertemperaturen signifikant gesteigert werden? Wie wird die Wärme auf höherer Temperatur am effektivsten genutzt? Als direkte Nutzwärme (Raumheizung), oder auch zur Erhöhung der Speicherkapazität als Wärmepumpen-Quelle?
- Begleitung/Vermessung von Anlagen mit vertiefter Auswertung, Simulation: Wie wird die Anlage effektiv betrieben, wie hoch sind die COP, JAZ, WNG und SNG? Wie könnte der Betrieb optimiert werden, wie könnte die Anlage optimiert werden?
- Laufdauer und Laufzeiten der Elektrodirektheizung: Der Verbrauch von Elektro-Notheizung ist zwar im Systemnutzungsgrad enthalten, für die übergeordnete Sicht und langfristige Strategie ist aber z.B. wichtig zu wissen, ob und unter welchen Bedingungen Eisspeicher-Wärmepumpe auch ohne systematischem Zuschalten der Notheizung funktionieren? Schalten alle Notheizungen zeitgleich in kalten Winter Nächten zu? Was bedeutet das für das Stromnetz? Soll eine Wärmepumpen-Technologie gefördert werden, welche auf eine zeitweise Elektro-Direktheizung angewiesen ist? Welche Konzepte kommen ohne Notheizung aus?
- Simulation der Systeme auf dem Markt in verschiedenen Referenzbedingungen und Vergleich mit Luft-Wasser- und Erdsonden-Wärmepumpen-Anlagen: Welche Systeme auf dem Markt sind für welche Rahmenbedingungen besser geeignet, wie vergleichen sich die Anlagen mit neuen Ansätzen (SPF), was sind die Einflüsse der Rahmenbedingungen (Eingrenzung Einsatzbereiche)?
- Techno-ökonomische Modellierung und Optimierung der verschiedenen Konzepte und Ansätze: Mit welchem Ansatz und welcher Dimensionierung wird der tiefste Wärmepreis erreicht? Wie vergleicht sich dieser Wärmepreis mit anderen Wärmepumpen-Systemen?
- Optimale Nutzung der Kollektorwärme: Wo ist das Optimum für die Umschaltung zwischen den Einspeisepunkten BWW, Heizung, Wärmepumpen-Verdampfer und Eisspeicher?
- Kann mit dem Einbezug von Wettervorhersagen in mittelfristige Steuerungsstrategien (< 10 Tage) der SNG gesteigert werden?

Die vertiefte Untersuchung in diesen und weiteren Bereichen würde dazu beitragen, die Technologie noch besser einordnen und einschätzen zu können und könnte wertvolle Impulse für die Weiterentwicklung der Technologie geben.

9.3 Förderung der Akzeptanz am Markt, Marktdurchdringung

Die Anbieter von Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen wurden im Rahmen eines Workshops angefragt, wie aus der Sicht der Anbieter die Akzeptanz und Marktdurchdringung gefördert werden könnte. Die folgenden Vorschläge wurden genannt:

- Schulungen für Planer und HLK-Fachleute mit Einbezug der Anbieter um das Produkt- und Systemwissen zu verbreiten und Skepsis abzubauen
- Broschüre mit Informationen und Empfehlungen zu Eisspeicher-Wärmepumpen von öffentlichen Stellen (Bund, Kantone), um Vertrauen zu schaffen
- Schlechte Referenzen vermeiden, Systemgedanke, Bevorzugung von "alles aus einer Hand" wenn immer möglich, statt individuell geplante Anlagen
- QM-Blätter und Leistungsgarantien
- Unverglaste Kollektoren leiden unter negativen Vorurteilen, bessere Information zu nicht verglasten Kollektoren verbreiten, sinnvolle Anwendungsgebiete aufzeigen, schlechtes Image abbauen helfen
- In der Förderpolitik von der Förderung von Kollektoren in Richtung Systemförderung gehen
- Dokumentation von Vorzeigeprojekten

Wirksam, kurz bis mittelfristig realistisch und im Einflussbereich der öffentlichen Hand sind vor allem die folgenden Massnahmen:

- Erstellung und Verbreitung von Informationsmaterial hinsichtlich Systembeschreibung und Einsatzgebiete und -kriterien sowie Planungshilfen/Checklisten
- Förderung von neutralen Planungs- und Simulationstools, welche die Einschätzung der Machbarkeit, die Grobauslegung und die Berechnung/Simulation des erwarteten Ertrags ermöglichen sowie den Vergleich von Systemen in einer gegebenen Anwendung. Dies zum Beispiel in Form eines einfachen Berechnungstools und durch Integration der verfügbaren Systeme in Polysun und/oder ähnlichen Simulationsprogrammen.
- Begleitung, Auswertung, Dokumentation und Besichtigungsmöglichkeiten von Anlagen. Aufbereitung in verständlichem Format und Verbreitung über bestehende Kanäle.
- Bei geförderten Projekten Bedingungen stellen bezüglich Einsatzkriterien, Messausrüstung, Optimierungsphase und Nachweis der Anlageneffizienz
- Wo nötig ev. Anpassungen bei Förderkriterien für Anlagen, um Eisspeicher-Wärmepumpen gegenüber anderen Anlagenkonzepten nicht zu benachteiligen

Literatur

[Aeberli 2012] Aeberli, O. E., "Heizen mit Eisspeicher als Alternative", Haustech Nr. 11, S. 69-71, 2012

[Afjei und Winteler, 2013] Afjei, T., und Winteler, C., "Wärmepumpen, Photovoltaik und Eisspeicher - Anforderungen an erfolgreiche Systeme", 19. Tagung des BFE-Forschungsprogramms "Wärmepumpen und Kälte", HTI Burgdorf, 26. Juni 2013

[Auer und Schote, 2014] Auer, F., und Schote, H., "Die Energieeffizienz der Solaren-Wärmepumpe Nr. 2401 in einem Einfamilienhaus in Gottenheim/Kaiserstuhl (Südbaden)", Lokale Agenda 21 - Gruppe Energie der Stadt Lahr, Phase 2, Innovative Wärmepumpensysteme, des Feldtests Wärmepumpen, Juni 2014

[Bedal, 2012] Bedal, A., "Eis mach heiss", Sonnenenergie, 2012, 6, S. 22-23, 2012

[BINE, 2009] BINE Informationsdienst, "Latentwärmespeicher in Gebäuden, Wärme und Kälte kompakt und bedarfsgerecht speichern", FIZ Karlsruhe, 2009 (www.bine.info)

[Claesson und Eskilson, 1987] Claesson, J., und Eskilson, P., "Conductive Heat Extraction by a Deep Borehole. Thermal Analyses And Dimensioning Rules", in: Eskilson, P., "Thermal Analysis of Heat Extraction Boreholes", Dep. Of Mathematical Physics, University of Lund, Sweden, 1987

[Energie Solaire SA, 2012] Energie Solaire SA, "Chauffage par Pompe à Chaleur avec des Capteurs Sélectifs non vitrés et Accumulateur a changement de Phase", Rapport Final, Office Fédéral de l'Énergie, OFEN, SI/500'482, 2012

[Frank et al., 2010] Frank, E., Haller, M., Herkel, S., und Ruschenburg, J., "Systematic Classification of Combined Solar Thermal and Heat Pump Systems", Proceedings of the EuroSun 2010 Conference, Sep. 29. - Oct. 1, Graz, Austria

[Graf et a, 2012] Graf, O., Cuvillier, G., & Thissen B., "Combined solar HP systems with ice storage tank - Results of 2 years field test, Task 44 - Meeting 6, 8.-10. Oktober 2012, DTU Lyngby, Copenhagen, Denmark (Vortrag)

[Graf und Thissen, 2012] Graf, O., und Thissen, B.: "Chauffage par Pompe à Chaleur Solaire avec des Capteurs sélectifs non vitrés accumulateur a changement de Phase", Rapport Final, Office fédérale de l'énergie OFEN, SI/500'481, Bern, 2012

[Gutensohn] Gutensohn, R., "Viessmann Eisspeichersystem, ein neues Versorgungskonzept", Vortrag an der FWS-Tagung 11/2012

[Haller et al., 2012a] Haller, M. Y. Bertram, E., Dorr, R., Afjei, T., Ochs, F., und Hadorn, J.-C., "Review of component models for the simulation of combined solar and heat pump heating systems", Energy Procedia 30, 2012, S. 611 - 622

[Hubacher und Bernal, 2012] Hubacher, P., und Bernal, C., "QS-WP/QP: Fortsetzung des Feld-Monitorings von WP-Anlagen mittels Feldmessungen, Analyse des Langzeitverhaltens und Bestimmung der Effizienz für das Modell der Wärmepumpenstatistik für die Jahre 2008bis 2011", Bundesamt für Energie BFE, Projektnummer 102'590, Schlussbericht, Mai 2012

[Kalberer et al., 2011] Kalberer, F., Pfirter, M., Wakefield, A., "WP-Solar-Anlage Savièse (VS), Analyse, Messwerte und Systemvergleich", FHNW, Institut Energie am Bau, 2011

[Leibfried, 2009] Leibfried, U., "Die Vision vom solaren Heizen wird Wirklichkeit", erneuerbare energie - Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft, Nr. 3, 2009

[Leibfried und Faßnacht, 2010] Leibfried, U., und Faßnacht, T., "Vom Standardgebäude zum Aktiv-Solarhaus mit SOLAERA", 2. Symposium Thermische Solarenergie, Luzern, 2010

[Leibfried, 2011] Leibfried, U., "Integrierte Systemlösungen für Bestand und Neubau als Weg zum Erreichen der Klimaziele", Poster, Symposium Thermische Solarenergie, OTTI, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2011

[Lerch et al., 2011] Lerch, W., Heinz, A., Fink, C., Broidler, J., und Wagner, W., "Kombination Solarthermie / Wärmepumpe inkl. Abwasser-Wärmerückgewinnung (AWR)", IEA SHC Task 44, <http://task44.iea-shc.org/publications>, 2011

[Loose, 2012] Loose, A., "Kombination Solarthermie und Wärmepumpen, Hintergründe, Anlagenbeispiele, Leistungsprüfung in Labor und Praxis", GREES Kolloquium Effiziente Energienutzung, Stuttgart, Vortrag am GREES Kolloquium Effiziente Energienutzung, Stuttgart, 6.6.2012

[Malenkovic et al., 2012] Malenkovic, I., Eicher, S., und Bony, J., "Definition of Main System Boundaries and Performance Figures for Reporting on SHP Systems, A technical report of Subtask B, Deliverable B1.1, Final Document", IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38, <http://www.iea-shc.org/task44>, 28.12.2012

[Mojic et al., 2013] Mojic, I., Haller, M. Y., Thissen, B., und Frank, E., "Wärmepumpen-Systeme mit selektiven unabgedeckten und frei belüftbaren abgedeckten Kollektoren als einzige Wärmequelle", 23. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 23.-26. April 2013, Kloster Banz, Bad Staffelstein, OTTI e.V., Regensburg, 2013

[Müller-Steinhagen, 2008] Müller-Steinhagen, H., "Simulationsstudie Solar-Wärmepumpensystem zur Trinkwassererwärmung und Raumheizung", Prüfbericht Nr. 07SIM109/1, Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen des Instituts für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart, 28.7.2008

[Philippen et al., 2012a] Philippen, D., Haller, M. Y., Frank, E., und Brunold, S., "Entwicklung einer hocheffizienten Solarthermie-Wärmepumpen-Heizung mit Eisspeicher", 17. Status-Seminar "Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt", 13.-14. September 2012, ETH Zürich

[Philippen et al., 2012b] Philippen, D., Logie, W., Thalmann, M., Haller, M. Y., Brunold, S., und Frank, E., "Development of a heat exchanger that can be de-iced for the use in ice stores in solar thermal heat pump systems", EuroSun2012, ISES-Europe Solar Conference, Rijeka, Croatia, 18.-20. September 2012

[Philippen et al 2012c] Philippen, D., Carbonell, D., und Frank, E., "High-Ice project", Annual Report, December 14, 2012, Bundesamt für Energie, Bern

[Philippen, 2013] D. Philippen, "Saisonale Wärmespeicherung im Eisspeicher - Erste Erfahrungen mit einer Pilotanlage", Vortrag am SPF-Industrietag, SPF Rapperswil, 14.3.2013.

[Plamening, 2013] Plamening, Y., "Thermischer Energiespeicher SolarEis - die Zukunft der Energiespeicherung", Vortrag am Energie- und Umweltapéro der ZHAW, Winterthur, 5.3.2013

[Ruschenburg und Herkel, 2013] Ruschenburg, J., und Herkel, S., "A Review of Market-Available Solar Thermal Heat Pump Systems, Subtask A Report 1", IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38, <http://task44.iea-shc.org>, 18.3.2013

[Siemens 2013] Siemens Building Technologies, "Siemens Kältetechnik", <https://www.cee.siemens.com/web/austria/de/industry/bt/support/Pages/Kaeltetechnik.aspx>

[Sparber et al., 20xx] Sparber, W., Vajen, K., Herkel, S., Ruschenburg, J., Thür, A., Fedrizzi, R., und D'Antoni, M., "Overview on Solar Thermal Plus Heat Pump Systems and Review of Monitoring Results", Global Solar Thermal Energy Council (www.solarthermalworld.org), 2011

[Thissen und Cuviller, 2012] Thissen, B., und Cuviller, G., "Combined solar HP systems with ice storage tank, ESSA & Polysun simulation models", Task 44 - Meeting 6, 8.-10. Oktober 2012, DTU Lyngby, Copenhagen, Denmark (Vortrag)

[Viessmann, 2013] Viessmann AG, "Eisspeichersystem für Wärmepumpen, Planungsanleitung", www.viessmann.de, 2013

[Wellstein, 2013] Wellstein, J., "Zwei Eisspeicher erwärmen modernen Wohn- und Gewerbeneubau", HK-Gebäudetechnik 10/13, 2013

EnergieSchweiz

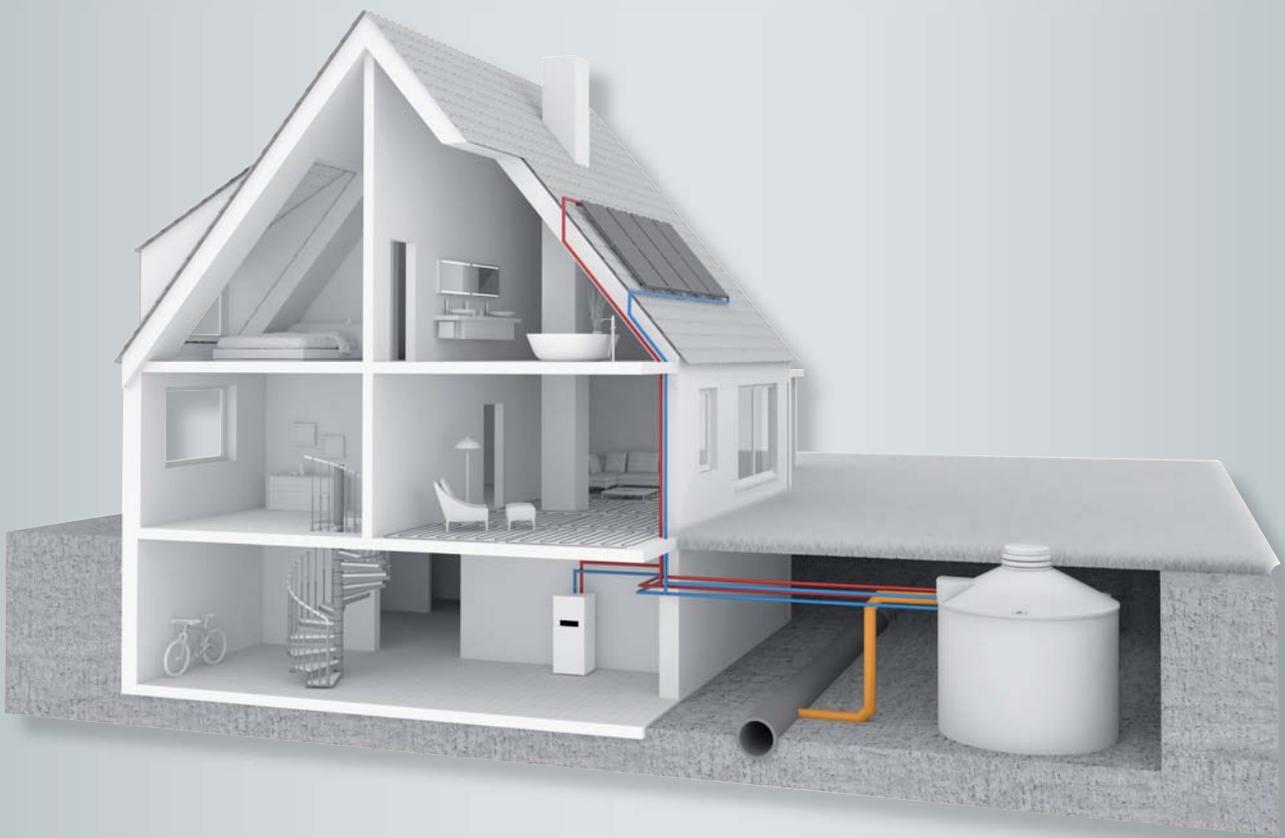
Bundesamt für Energie BFE; Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 058 462 56 11, Fax 058 463 25 00; contact@bfe.admin.ch; www.energie-schweiz.ch

Anhang 1:

Broschüre Viessmann Eisspeicher-System

TopTechnik

Heizen mit Eis –
Effiziente und preisattraktive Wärmequelle für Wärmepumpen



Eisspeichersystem als Alternative zu Erdsonde und Erdkollektoren

Wärmepumpen haben seit einigen Jahren unter den jährlich installierten Wärmeerzeugern einen festen Platz. Ihr Potential liegt neben der Energieeffizienz des Heizsystems auch in der Möglichkeit, diskontinuierlich eingespeisten Ökostrom aus Wind und Sonne zu nutzen. Oft handelt es sich dabei um Überkapazitäten im Stromnetz. So ist zu erwarten, dass der Anteil für Wärmepumpen weiter steigen wird.

Wärmepumpen nutzen Luft- und Erdwärme mit niedrigem Temperaturniveau und wandeln diese durch den Kältekreisprozess in Temperaturen zum Heizen.

Wärmepumpen nutzen heute Umgebungsluft, Erdreich oder Grundwasser als Wärmequellen. Das neue Konzept des Eisspeichersystems kombiniert Luft- und Erdwärme und kann zusätzlich solare Einstrahlung als Wärmequelle nutzen.

Kostengünstig Wärmequellen erschließen

Erdreich und Grundwasser sind gute Wärmespeicher. Ihre Temperaturen sind über das ganze Jahr relativ gleichmäßig, was hohe Jahresarbeitszahlen gewährleistet. Erschlossen werden diese Wärmequellen über horizontal verlegte Erdkollektoren oder über vertikal in die Erde eingebrachte Erdwärmesonden beziehungsweise Brunnenbohrungen. Die dafür notwendigen Erdarbeiten erfordern je nach Bodenbeschaffenheit hohe Investitionskosten und sind außerdem genehmigungspflichtig.

Die Außenluft als Wärmequelle lässt sich dagegen einfach und kostengünstig erschließen. Sie wird von der Außeneinheit der Wärmepumpe angesaugt, die enthaltene Wärme im Verdampfer entzogen und anschließend wieder in die Umgebung abgegeben. Aufwändige Erdarbeiten entfallen dadurch.

Allerdings besteht eine Diskrepanz zwischen Wärmeangebot und -nachfrage: Bei niedrigen Außentemperaturen entsteht ein höherer Wärmebedarf, der entweder mit Hilfe eines Elektro-Heizeinsatz oder durch einen zweiten Wärmeerzeuger gedeckt werden muss.

Erschließung alternativer Wärmequellen für Wärmepumpen

Seit Wärmepumpen zur Gebäudebeheizung verwendet werden, suchen Hersteller und Forschungsinstitute stets neue Wege, wie die Erschließung von Wärmequellen optimiert, Investitionskosten reduziert und die Effizienz der Wärmepumpenanlage erhöht werden kann.

Dazu gehören auch Versuche, Sonnenenergie direkt in Wärmepumpen zu nutzen. So wurden bereits Ende der 1970er Jahre Sole/Wasser-Wärmepumpen in Kombination mit unverglasten Solarkollektoren eingesetzt, um daraus die benötigte Energie zu gewinnen.

Diese Lösungen waren jedoch wenig effizient und haben sich nicht durchgesetzt. Außerdem steht in Deutschland Sonnenenergie während der kalten Monate und in der Übergangszeit nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung.

Betrachtet man eine solare und eine erdgekoppelte Wärmequellenanlage, so liegt der Schluss nahe, eine Kombination aus beiden Systemen zu verwirklichen. Hierfür gibt es auf dem Markt verschiedene Lösungen, die allerdings keine kontrollierte Speicherung des solaren Wärmeertrages ermöglichen.

Versuche, Solarwärme während der sonnenreichen Sommermonate über Erdsonden oder Erdkollektoren im Erdreich bis zur Nutzung zwischenspeichern, sind stark von den geologischen Bedingungen abhängig. Sobald die Erdsonden wasserführende Schichten kreuzen, wird über den Grundwasserfluss die eingebrachte Wärme ungenutzt abtransportiert. Außerdem geht bei dieser Lösung der Kostenvorteil verloren, der durch den Verzicht auf die umfangreichen Erdarbeiten erzielt werden sollte.

Eine Alternative zu Sonden- bzw. Brunnenbohrungen und Erdkollektoren sind Massivabsorber und so genannte Energiezäune. Massivabsorber sind Betonsegmente, in denen soledurchströmte Rohrleitungen als Register angeordnet sind. Die Betonsegmente sollen durch ihre Masse eine gewisse Speicherefähigkeit haben. Energiezäune sind einfache Rohrregister ohne Ummantelung. Beide Wärmetauscherarten sind zu etwa einem Drittel ihrer Fläche eingegraben, rund zwei Drittel sind über der Erdoberfläche. Der oberirdische Teil arbeitet als Absorber für die Wärme aus der Umgebungsluft und die Solarstrahlung. Der eingegrabene Teil nimmt Erdwärme auf.

Eisspeicherbehälter mit 10 m³ Wasserinhalt. Das Wasser dient als Speichermedium und wird im Bedarfsfall kontrolliert vereist.



Für ein effizient funktionierendes System an kalten Wintertagen ohne nennenswerten Solarertrag muss ein ausreichend großer Teil der Wärmetauscherfläche Wärme aus dem Erdreich aufnehmen können. Allerdings ist dies auf Grund der begrenzten Wärmetauscherfläche im Erdreich für diese Zeit nicht möglich.

Erdkörbe gelten als Alternative zu Erdkollektoren, da sie sehr viel weniger Grundstücksfläche beanspruchen. Es sind zylindrische oder kegelstumpfförmige Drahtkörbe, die mit Wärmetauscherrohren umwickelt und in einem bis vier Meter Tiefe vergraben sind. Ihre Bauform und auch die Bodenbeschaffenheit bedingen aber nur eine geringfügig höhere Wärme-Entzugsleistung als bei Erdkollektoren.

Eisspeichersystem nutzt verschieden Primärquellen

Das Eisspeichersystem stellt die erforderliche Energie für die Wärmepumpe aus verschiedenen Primärquellen zur Verfügung. Hierbei dient der Eisspeicher als Zwischenspeicher für die zur Verfügung stehende Energie. Ein Wärmequellenmanagement entscheidet welche Primärquelle, verwendet wird.

Als Primärquellen werden die Umgebungsluft, die solare Einstrahlung und die Erdwärme genutzt. Der Eisspeicher lagert diese Energien auf niedrigem Temperaturniveau ein und steht als Energiequelle für die Wärmepumpe zur Verfügung. Zur Erweiterung der Speicherkapazität kann neben der Energie aus den Primärquellen zusätzlich die Energie des Wasser genutzt werden, die beim Phasenwechsel von flüssig zu fest freigesetzt wird (Kristallisationsenergie).

Wärmepumpen für Eisspeichersystem

Für das System können Sole/Wasser-Wärmepumpen Vitocal 300-G, 333/343-G und 350-G im Leistungsbereich 6 bis 17 kW eingesetzt werden. Diese sind mit dem für das Eisspeichersystem notwendigen RCD-System mit elektronisch geregelttem Expansionsventil ausgerüstet.

Komponenten des Eisspeichersystems

Das Eisspeichersystem besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

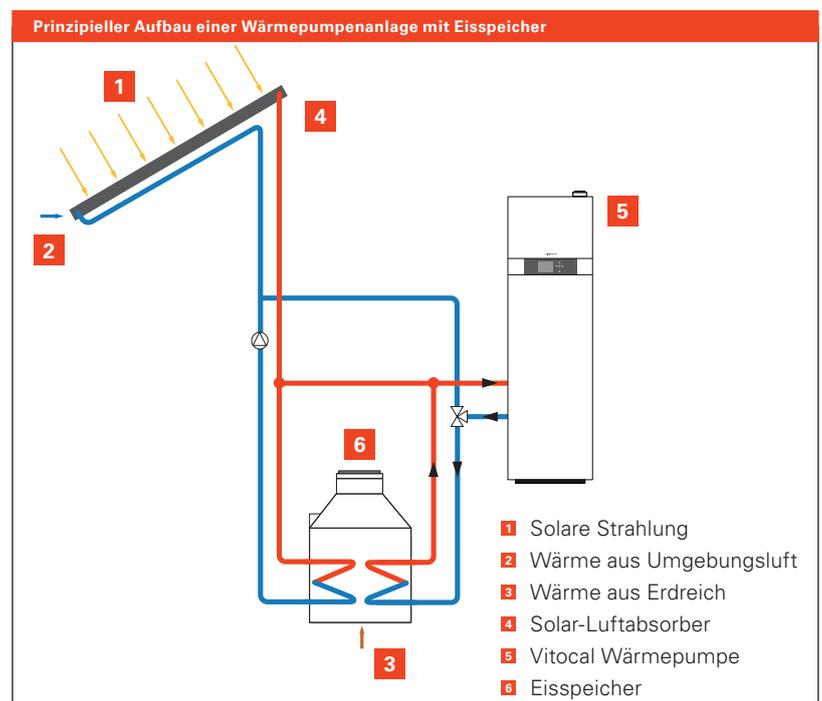
- Eisspeicherbehälter
- Solar-Luftabsorber
- Sole/Wasser-Wärmepumpe
- Wärmequellenmanagement

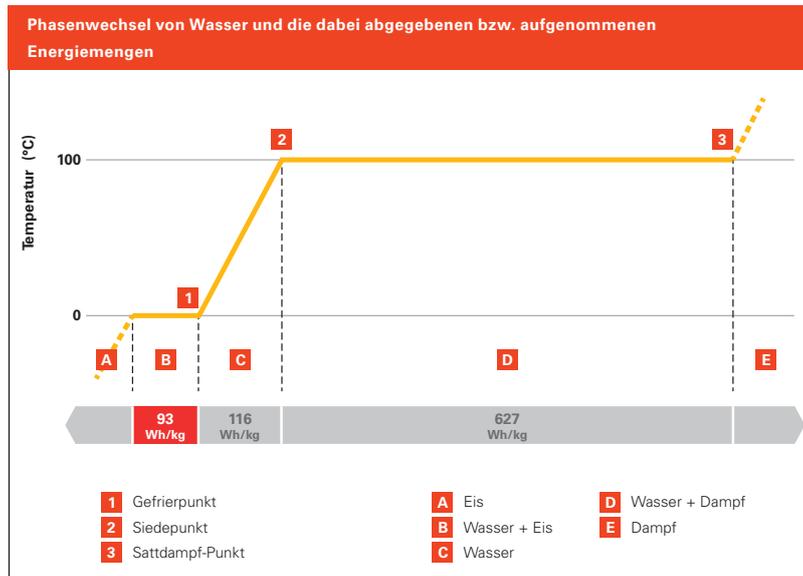
Der Eisspeicher

Das Eisspeichersystem wird standardmäßig für Wärmepumpen mit einer Leistung von 6 bis 17 kW angeboten. Hierbei werden je nach Leistung ein oder zwei Eisspeicher mit einem Wasservolumen von je 10 m³ verwendet. Sie werden vollständig in das Erdreich eingebracht und mit Trinkwasser gefüllt. Regen- oder Oberflächenwasser dürfen nicht für die Befüllung verwendet werden, da hierbei Algenwachstum und Verschlämzung nicht ausgeschlossen sind. Algen würden zu einem schlechterem Wärmeübergang am Wärmetauscherrohr führen.

Im Eisspeicherbehälter sind in verschiedenen Ebenen spiralförmig Rohre aus Kunststoff verlegt, die als Entzugswärmetauscher dienen, dem Wasser die Wärme entziehen und der Wärmepumpe zur Verfügung stellen.

Am äußeren Rand des Behälters befindet sich der Regenerationswärmetauscher. Dieser Wärmetauscher führt die durch den Solar-Luftabsorber bereitgestellte Umweltenergie dem Speicher zu.





Funktionsweise des Eisspeichersystems

Das Herzstück bildet der Eisspeicherbehälter. Er dient als Primärquellenpuffer und ist mit Wasser als Speichermedium gefüllt.

Der Energiegehalt von Wasser ist begrenzt und liegt bei 1,163 Wh/(kg · K). Wird also ein Liter Wasser um 1 Kelvin abgekühlt, werden 1,163 Wh Energie frei. Durch die Wärmepumpe wird dem Eisspeicher diese Wärmeenergie nach und nach entzogen und das Wasser bis auf 0 °C abgekühlt. Der bei weiterer Energieentnahme entstehende Vereisungsprozess ist gewollt, denn der Phasenwechsel von Wasser zu Eis bringt einen weiteren Energiegewinn. Hierbei bleibt die Temperatur zwar konstant bei 0 °C, doch es werden weitere 93 Wh/(kg · K) Kristallisationsenergie frei, die von der Wärmepumpe genutzt werden können (Abb. links). Das entspricht der frei werdenden Energiemenge, wenn Wasser von 80 °C auf 0 °C abgekühlt wird.

Die Eisbildung beginnt um den Entzugswärmetauscher und setzt sich von innen nach außen fort (Abb. rechts unten). Diese Eisschicht am Kunststoffrohr erzeugt einen zusätzlichen Widerstand für die Wärmeleitung vom Speichermedium zum Solekreis der Wärmepumpe (Abb. rechts oben). Durch die Anordnung der Wärmetauscherrohre im Eisspeicher vergrößert sich ihre Oberfläche während der Eisbildung kontinuierlich.

Diese Oberflächenvergrößerung durch das Eiswachstum und die gleichzeitige Vergrößerung des Wärmeleitwiderstandes finden in etwa proportional statt. Es wird über die größere Oberfläche mehr Wärme aufgenommen, allerdings schlechter zur Soleflüssigkeit weitergeleitet – der Wärmestrom bleibt durch diesen Zusammenhang nahezu konstant. Die durch den Solar-Luftabsorber gewonnene Energiemenge wird durch den Regenerationswärmetauscher dem Speichermedium zur Verfügung gestellt und erwärmt das Wasser bzw. taut das Eis wieder auf.

Die Solar-Luftabsorber

Die Solar-Luftabsorber (Abb. links unten) sind unverglaste RohrabSORber aus Kunststoff, die durch entsprechendes Montagematerial leicht auf Flachdächern und Schrägdächern installiert werden können. Der Solar-Luftabsorber entzieht der Umwelt Energie und wird sowohl als direkte Wärmequelle für die Wärmepumpe, als auch zur Regeneration des Eisspeichers verwendet.

Der Solar-Luftabsorber kann hierbei aus folgenden Quellen Energie aufnehmen:

- Umgebungsluft
- Direkte und diffuse Sonnenstrahlung
- Niederschlag
- Raureif

Das Wärmequellenmanagement entscheidet über einen Regler je nach Temperaturangebot, ob die Wärmepumpe den Absorber oder den Eisspeicher als Wärmequelle nutzt.

Solar-Luftabsorber – unverglaste RohrabSORber aus Kunststoff



Neben der Wärme aus dem Solar-Luftabsorber bezieht der Eisspeicher auch Erdwärme. Sobald die Speicherwassertemperatur unter das Temperaturniveau des umgebenden Erdreichs sinkt, nimmt der Speicher Erdwärme auf. Ist der Speicher vereist, strömt immer



Eisbildung um den Entzugswärmetauscher im Eisspeicher

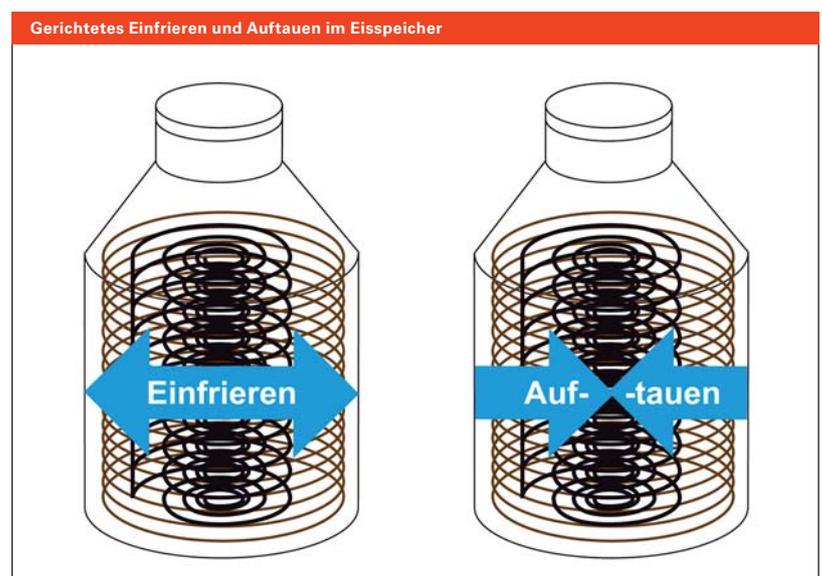
noch Wärme aus dem Erdboden nach, um als Wärmequelle zu dienen. Die Höhe des Energieertrags richtet sich nach der Bodenbeschaffenheit.

Im Sommer wird dagegen über die Oberfläche des Speichers Wärme an das Erdreich abgegeben. Somit stellt sich ein automatischer Regeleffekt ein, der eine Überhitzung des Speicherinhalts im Sommer verhindert.

Kühlen mit dem Eisspeichersystem

Eine sinnvolle Möglichkeit zur Optimierung des Eisspeichersystems ist die Nutzung des Eisspeichers zur natürlichen Kühlung im Sommer. Dafür wird der Eisspeicher zum Ende der Heizperiode vollständig vereist, indem die Regeneration des Speichers unterbrochen wird. Das dann gebildete Eis steht als natürliches Kühlreservoir zur Verfügung.

Über den Entzugswärmetauscher wird die Wärme aus dem Gebäude dem Eisspeicher zugeführt. Dabei schmilzt das Eis bzw. das Wasser wird erwärmt.





Solar-Luftabsorber, hier in Schrägdachmontage, als direkte Wärmequelle für die Wärmepumpe oder zur Regeneration des Eisspeichers

Exakt aufeinander abgestimmte Systemkomponenten

Die Solar-Luftabsorber zur Aufnahme der Energie aus der Umgebungsluft und der solaren Einstrahlung sind speziell auf den Betrieb mit Eisspeicher und Wärmepumpe ausgelegt. Groß dimensionierte Verteiler- und Sammlerrohre ermöglichen die direkte Durchströmung mit dem Primärmedium (Solekreis) der Wärmepumpe. Mindestvolumenströme können bei geringem Druckverlust eingehalten werden. Die Absorber bestehen aus einem UV-beständigen Kunststoff und sind als Harfenabsorber konzipiert, die für eine möglichst große Oberfläche zweilagig angeordnet sind (Abb. oben).

Der Fokus der Wärmegewinnung liegt bei den Solar-Luftabsorbern auf der Umgebungsluft,

da diese Tag und Nacht verfügbar ist. Die solare Einstrahlung ist eine willkommene zusätzliche Wärmequelle, die die Effizienz des Systems erhöht.

Die unverglasten Solar-Luftabsorber sind für den Einsatz im Eisspeichersystem deshalb besonders gut geeignet, da sie auch bei tiefen Umgebungslufttemperaturen und bei nicht vorhandener Sonneneinstrahlung Energie für das System bereitstellen.

Herkömmliche Solarkollektoren hingegen eignen sich nicht als Wärmequelle für das Eisspeichersystem, da diese keine Energie der Umgebungsluft entziehen können sondern nur bei direkter oder diffuser Sonnenstrahlung Energie liefern. Diese steht während der Heizperiode nicht ausreichend zur Verfügung.

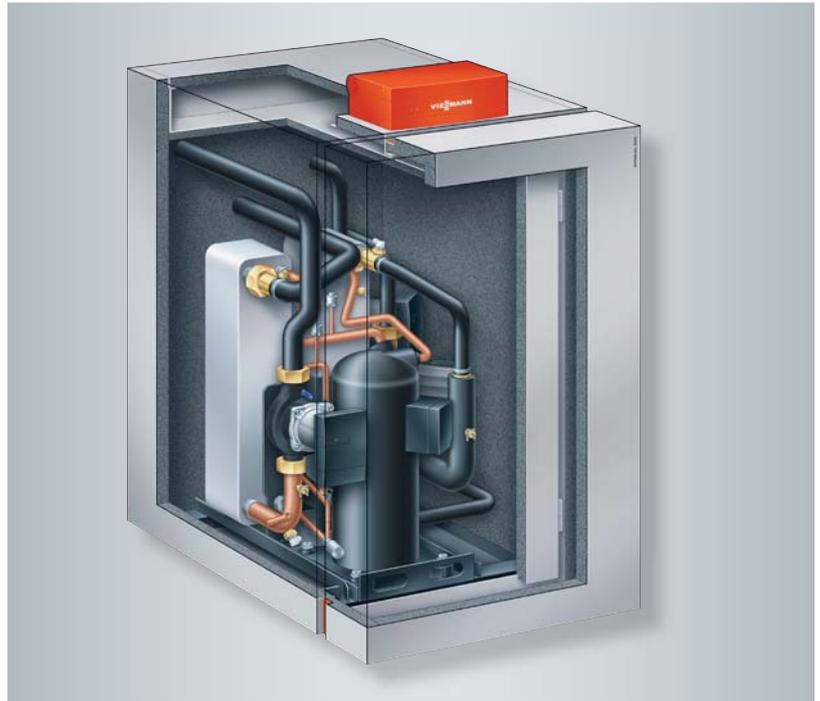
Auch die Wärmepumpe ist eine genau abgestimmte Komponente im System aus Eisspeicher und Solar-Luftabsorbern. Da die Temperaturen im Primärkreis während der Heizperiode zwischen $+25$ und -7 °C betragen können, muss der Kältekreis der Wärmepumpe für das Eisspeichersystem optimiert sein. Hierfür eignen sich die Viessmann Sole/Wasser-Wärmepumpen Vitocal 300-G, 333/343-G und 350-G mit RCD-System (Refrigerant-Cycle-Diagnostic-System) und einem elektronisch gesteuerten Expansionsventil.

Exakte Regelung mit elektronischen Expansionsventilen

Gegenüber den sonst eingesetzten thermostatischen Expansionsventilen lassen sich elektronische Expansionsventile wesentlich exakter regeln. Angetrieben von einem Schrittmotor regeln sie den Kältemittel-Massenstrom proportional, bieten einen großen Regelbereich zwischen 10 und 100 Prozent und haben sehr kurze Öffnungs- und Schließzeiten. Das daraus resultierende feinfühlige Regelverhalten sorgt für eine konstante Temperatur am Verdampfer-Austritt und für eine gleichbleibende Überhitzung des Kältemittels, unabhängig vom jeweiligen Betriebszustand der Wärmepumpe. So kann der Verdichter stets mit höchstem Wirkungsgrad mit einer hohen Leistungszahl in allen Betriebszuständen betrieben werden.

Grundsätzlich sind elektronische Expansionsventile reine Stellglieder, die zu ihrer Funktion Sensoren und eine Regelung benötigen. Viessmann hat dafür das RCD-System entwickelt. Als Kältemittel-Kreislauf-Diagnose-System überwacht es permanent Temperaturen sowie Drücke an allen wesentlichen Stellen des Kältemittelkreislaufs. Alle wichtigen Werte werden gespeichert und stehen für eine Diagnose zur Verfügung.

Dabei wird auch die Energieaufnahme aus dem Stromnetz und die Wärmeabgabe an das Heizungssystem bilanziert. Zusammen mit dem elektronischen Expansionsventil sorgt das RCD-System durch ständige Überwachung aller relevanten Parameter für ein optimiertes Regelverhalten und damit für eine hohe Effizienz sowie niedrige Betriebskosten der damit ausgestatteten Wärmepumpen.



Sole/Wasser-Wärmepumpe Vitocal 300-G: RCD-System und elektronisches Expansionsventil gewährleisten in jedem Betriebszustand höchste Effizienz (COP = 5,0 bei B0/W35 °C nach EN 14511)

Vordefinierte Systempakete für den Leistungsbereich 6 bis 17 kW

Das Eisspeichersystem wird in vordefinierten Systempaketen für Wärmepumpen mit einer Leistung von 6 bis 17 kW vertrieben.

Diese Systempakete enthalten, abgestimmt auf die jeweilige Leistung, folgende Komponenten:

- Solar-Luftabsorber
- Eisspeicherbehälter mit integriertem Entzugs- und Regenerationswärmetauscher
- Montagezubehör für den Solar-Luftabsorber zur Schrägdach oder Flachdachmontage
- Wärmeträgermedium

Die Wärmepumpe sowie die Regelkomponenten für das Wärmequellenmanagement sind nicht in den Systempaketen enthalten und müssen separat bestellt werden.

Viessmann Deutschland GmbH
35107 Allendorf (Eder)
Telefon 06452 70-0
Telefax 06452 70-2780
www.viessmann.de

Ihr Fachpartner:

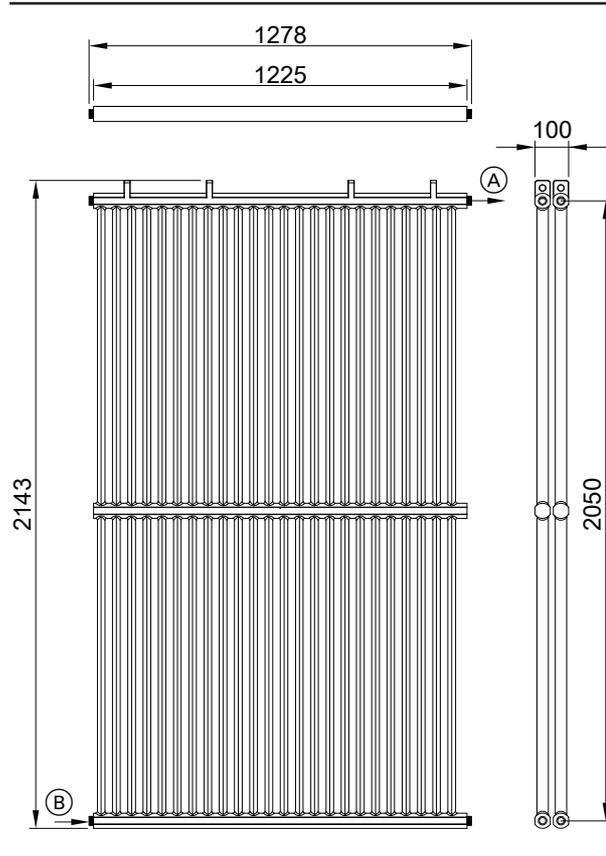
Anhang 2:

Datenblatt Viessmann Solar-Luft-Absorber SLK-S

Solar-Luftabsorber

2.1 Bauform Solar-Luftabsorber Typ SLK

- Unverglaster Solar-Luftabsorber zur Montage auf Schräg- und Flachdächern
- In einem Stück aus 100 % Polyethylen (PE).
Keine Schweiß- oder Klebeverbindungen innerhalb des Solar-Luftabsorbers
- 2 hydraulisch unabhängige Ebenen, die übereinander liegend auf einem Dachständer montiert werden.
- Bei mehreren Absorberfeldern wird am Anfang und Ende jedes Absorberfelds die obere Ebene über ein Anschluss-Stück mit der unteren Ebene verbunden.



- (A) Vorlauf
- (B) Rücklauf

2.2 Technische Angaben

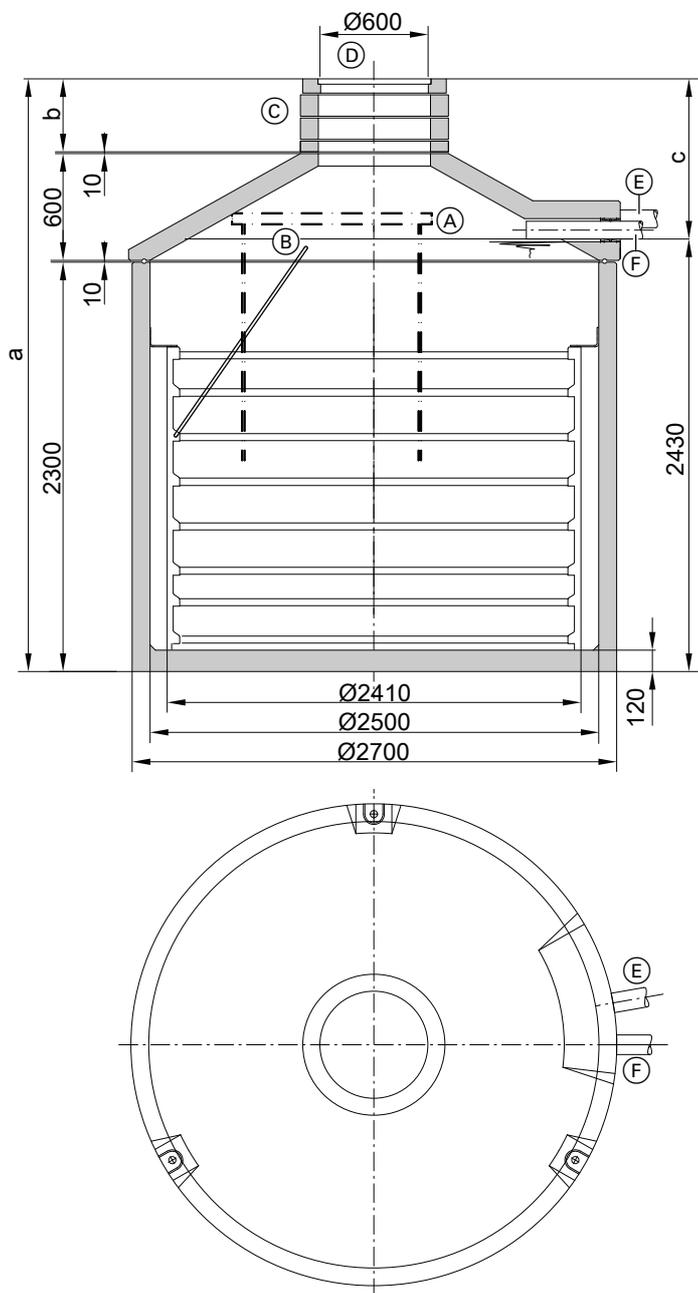
Typ	SLK-S	
Fläche		
Bruttofläche	m ²	2,61
Absorberfläche	m ²	2,34
Wärmetauschoberfläche	m ²	9,1
Abmessungen		
Breite	mm	1225
Gesamtbreite mit Anschluss-Stutzen	mm	1278
Höhe	mm	2120
Tiefe	mm	50
Abstände		
Abstand zwischen den Anschluss-Stutzen	mm	2050
Abstand zwischen 2 Kollektoren	mm	35
Gewicht		
Leergewicht	kg	38 (19 pro Ebene)
Gewicht gefüllt	kg	81
Inhalt Solar-Luftabsorber	l	45
Nennvolumenstrom	m ³ /h	0,25
Max. Betriebsdruck	bar	3
	MPa	0,3
Stillstandtemperatur	°C	60
Anschlüsse (flachdichtend)	G	1
Material	PE (Polyethylen), Recyclingcode PE-LD	
Hydraulische Verschaltung:		
– In Reihe	Stück	max. 8
– Parallel	Reihen	2 (nach „Tichelmann“)
Zulässige Neigung	5° bis 90°	

Anhang 3:

Datenblatt Viessmann Isocal Eisspeicher

3.1 Produktbeschreibung

Bauform Eisspeicher Typ SE-12



- (A) Verteilerbalken, ausziehbar
- (B) Tauchhülse für Temperatursensor Eisspeicher S2
- (C) 2 Ausgleichsringe
- (D) Schachtabdeckung:
 - SE 12-6 A: Klasse A, 15 kN, begehbar
 - SE 12-6 B: Klasse B, 125 kN, befahrbar
- (E) RDS-Muffe für Leerrohr DN 100, für Anschlussleitungen
- (F) Überlauf DN 100

Maße		Schachtabdeckung 15 kN, begehbar	Schachtabdeckung 125 kN, befahrbar
a	mm	3330	3375
b	mm	420	465
c	mm	900	945

Anhang 4:
Broschüre Consolar Solaera

Förderung:
bis zu 10.000 Euro

Die kompakte Sonnenheizung

SOLAERA



Heizen mit Sonne, Luft und Eis

-  Im Sommer direkte Sonnennutzung
-  Im Winter vierfacher Kollektorsertrag über Lüfter
-  Achtfache Energiespeicherung durch Eisspeicher





SOLAERA – die neue Generation Sonnenheizung

Die SOLAERA-Sonnenheizung ist ein kompaktes, effizientes Heizsystem, mit dem Sie Ihr Haus ausschließlich mit Sonne und Luft beheizen können. Möglich wird dies durch die einzigartige Kombination aus Hybridkollektoren, einem Kombipufferspeicher sowie einem Eisspeicher. SOLAERA ist die neue Generation Sonnenheizung und hervorragend geeignet für den Einsatz im Neubau wie zur energetischen Modernisierung Ihres Hauses.

Die Hybridkollektoren im SOLAERA-System arbeiten im Sommer wie bei konventionellen Solaranlagen. Ihre klaren Vorteile spielen sie vor allem im Winter aus: Dank integriertem Lüfter und Luft-Wärmetauscher können sie zusätzlich zur Solarstrahlung aus Außenluft Energie gewinnen, die anschließend von der Wärmepumpe als Wärmequelle genutzt wird. Dies garantiert einen geringen Strombedarf des SOLAERA-Systems, der deutlich unter dem herkömmlicher Luft-Wärmepumpen liegt.

Zusätzlich verfügt die SOLAERA-Sonnenheizung über einen integrierten Eisspeicher, mit dem sich die im Wasser beim Übergang zu Eis enthaltene enorme Energiemenge nutzen lässt. Dies garantiert einen minimalen Platzbedarf und sichere Heizwärme zu jeder Tages- und Jahreszeit.

- Bis zu 85 % Energieeinsparung gegenüber Gas- oder Ölheizung!
- Keine Erdsonden oder Luftgeräte im Garten erforderlich! Kosten für Anschlüsse, Zuleitungen, Schornstein, Tanks, Silos o. ä. entfallen.
- Funktionsweise und Effizienz von der Universität Stuttgart und vom Fraunhofer ISE wissenschaftlich bestätigt
- Seit 2006 europaweit erfolgreich im Einsatz

Übrigens: Mit einer zusätzlichen Photovoltaikanlage auf dem Dach können Sie die SOLAERA-Sonnenheizung über das Jahr ohne zusätzlichen Strombedarf betreiben – Ihr Beitrag zum Klimaschutz. Außerdem lässt sich dann der wirtschaftlich interessante Solarstrom-Eigennutzungsanteil deutlich steigern. Über den integrierten internetbasierten Systemregler ist dies einfach möglich.

Machen Sie sich jetzt unabhängig von Öl und Gas. Mit der SOLAERA-Sonnenheizung von Consolar.

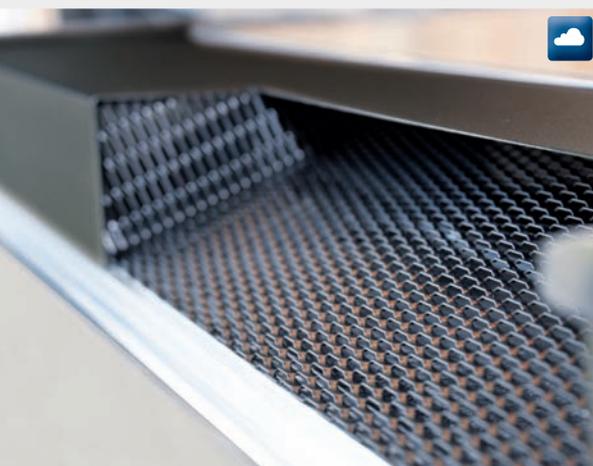
SOLAERA – so heizt man heute.

**Klimafreundlich mit
der Sonne heizen**

**Unabhängig von
Öl und Gas**

Modernste Heiztechnik

Geringe Stromkosten



Hybridkollektor:

Durch den besonderen Aufbau mit Luftwärmetauscher erntet der Hybridkollektor die 4-fache Wärmemenge im Winter gegenüber einem Standard-Sonnenkollektor. Er gewinnt tagsüber bei jedem Wetter Energie und lädt dabei den Eis- bzw. Kombispeicher auf.

Das können nur die Hybridkollektoren von Consolar.

Eisspeicher:

In dem Eis-/Wasserspeicher wird durch die Umwandlung zwischen den beiden Zuständen acht mal mehr Energie gespeichert als bei einem konventionellen Wasserspeicher gleicher Größe.

Damit ist die effiziente Haus-Wärmeversorgung über Nacht sicher-gestellt.



Der Eisspeicher in Aktion

SOLAERA – modern, klimafreundlich und kostensparend



Komfort und Benutzerfreundlichkeit überzeugen: mit dem PC, Tablet oder Smartphone können einfach gewünschte Werte angezeigt, geändert, tägliche Berichte per Mail zugesandt und Fernwartungen durchgeführt werden.



2012: Dr. Uli Leibfried, Entwickler und Geschäftsführer Consolar, nimmt von Baden-Württembergs Umweltminister Franz Untersteller eine der vielen Auszeichnungen für SOLAERA entgegen.



Das ideale Heizsystem für moderne Häuser und Neubauten



SOLAERA lässt sich an der Fassade und auf dem Dach integrieren.

SOLAERA ist architektonisch einfach in das Dach oder die Fassade eines Hauses integrierbar. Durch ihren Einbau werden der Primärenergiebedarf bzw. die CO₂ Emissionen im Vergleich zu anderen Heizsystemen deutlich gesenkt. So lassen sich nicht nur sehr geringe Heizkosten erzielen, sondern SOLAERA erfüllt auch die künftigen ENEC-Anforderungen. Der Passivhaus-Standard kann mit einem geringeren Aufwand auch ohne Heizung über ein Lüftungssystem erreicht werden.

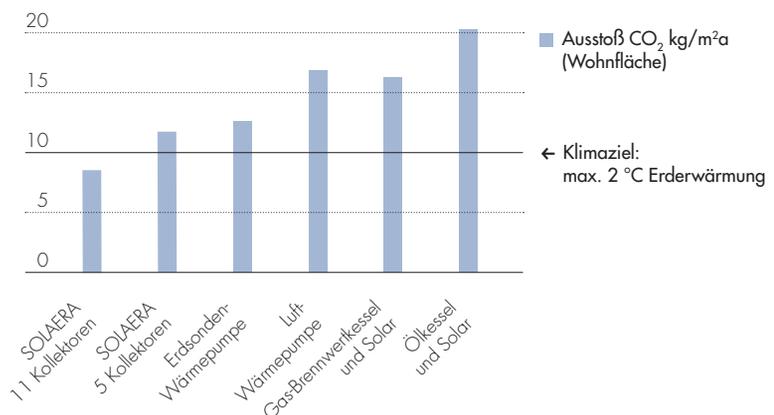
Beispiel Neubau	Einfamilienhaus, Familie mit 2 Kindern Moderne Niedertemperatur-Heizung (z. B. Fußboden) 7.000 kWh/a Heizverbrauch + 200 l/Tag Warmwasser (2.800 kWh)	
Investition	SOLAERA-Komplettpaket 5 Hybridkollektoren, Energiezentrum, 550 l-Kombispeicher, Servicepartner-Anlagencheck (zzgl. Kollektorleitungen): 23.340 Euro * Montagekostenschätzung: 3.000 Euro *	
Einsparungen	Verbrauch 2611 kWh/a: 465 Euro * CO₂-Einsparungen gegenüber Gaskessel + Solaranlage: 42 %, gegenüber Luftwärmepumpe: 37 % Energiekosten-Einsparung in 20 Jahren gegenüber Gaskessel + Solaranlage: 8.780 Euro in 20 Jahren gegenüber Luftwärmepumpe: 9.125 Euro	
Förderung	ab 3 Wohneinheiten und insgesamt mind. 7 Kollektoren: ab 3.600 Euro Attraktive Finanzierung möglich über KfW	

* Ca.-Kosten inkl. MwSt.

Annahmen für Beispielrechnung: Strom: 17,8 Cent/kWh, Gas: 7 Cent/kWh, Öl: 9 Cent/kWh; Preissteigerungen Strom und Gas: 5 %, Öl: 10 %



Energiezentrum:
Im Keller geringer Platzbedarf durch das Energiezentrum mit eingebauter Wärmepumpe, Systemregelung und Eisspeicher.



Mit SOLAERA lassen sich die Klimaschutzziele von max 2 Grad Erderwärmung mit 10 kg CO₂ /m² Wohnfläche und Jahr erreichen. Im Vergleich zu anderen Systemen kommt SOLAERA mit den geringsten CO₂ Emissionen aus.

Machen Sie Ihren Altbau zukunftsfähig

Altbauten können in zwei Schritten wirtschaftlich saniert werden: Durch die Installation einer SOLAERA wird der Energieverbrauch um 60 % - 75 % gesenkt: SOLAERA übernimmt die effiziente Grundversorgung. Ein vorhandener Gas-, Öl- bzw. Zimmerofen kann problemlos vom SOLAERA-Regler mit angesteuert und integriert werden. So bleiben diese Komponenten zur Abdeckung von Bedarfsspitzen im Einsatz und werden im zweiten Schritt durch eine Gebäudedämmung überflüssig.



Beispiel Altbau	Einfamilienhaus, Familie mit 2 Kindern Baujahr 1970, Radiatoren 2.900...3.000 l/a Öl (entspr. 2.900 m ³ /a Gas) für 20.000 kWh Heizung + 2.800 kWh Warmwasser	
Investition	SOLAERA-Komplettpaket 8 Hybridkollektoren, Energiezentrum, 1.000 l Kombispeicher, Servicepartner-Anlagencheck (zzgl. Kollektorleitungen): 29.135 Euro * Montagekostenschätzung: 4.000 Euro *	
Einsparungen	Verbrauch mit SOLAERA: 815 l Öl p. a. plus 3.485 kWh Strom p. a.	
	Kosten Öl:	735 Euro
	Kosten Strom:	620 Euro
	72 % Öl-Einsparung, 50 % CO ₂ -Reduktion	
	Energiekosten-Einsparung in 20 Jahren:	62.500 Euro
Förderung	Hohe Zuschüsse: von 5.400 Euro bis über 10.000 Euro	
	Attraktive Finanzierung möglich über L-Bank oder KfW	

* Ca.-Kosten inkl. MwSt.

Annahmen für Beispielrechnung: Strom: 17,8 Cent/kWh, Gas: 7 Cent/kWh, Öl: 9 Cent/kWh;
Preissteigerungen Strom und Gas: 5 %, Öl: 10 %

Im Sommerhalbjahr bleibt die Wärmepumpe praktisch aus. Die Kollektoren erzeugen direkt nutzbare Temperaturen für die Warmwasserbereitung.



SOLAERA passt nicht zu Ihrem Haus? Sie haben z. B. einen zu großen Verbrauch oder zu hohe Heizkristemperaturen? Dann entlasten Sie mit einer hocheffizienten konventionellen Solarwärme-Anlage von Consolar das Klima und Ihre Energieausgaben.

	SOLAERA	mit zusätzlicher Wärmequelle
Heizleistung	4 - 8 kW	8 - 15 kW
Jährlicher Wärmebedarf (inkl. Warmwasser)	6.000 - 13.000 kWh/a	13.000 - 25.000 kWh/a
Vorlauftemperatur	max. 40 °C	max. 55 °C



Consolar zählt seit rund 20 Jahren zu den technologisch führenden Unternehmen im Bereich solares Heizen. Das Unternehmen wurde 1994 von vier Ingenieuren gegründet, welche bis heute die Geschäftsführung innehaben. Consolar bietet heute vollständige Systemlösungen für praktisch alle Situationen im Alt- und Neubau aus einer Hand an.

Consolar Solare Energiesysteme GmbH

Gewerbestraße 7
79539 Lörrach
Fax: +49 (0)7621-42228-555

Eine Checkliste zur Prüfung für SOLAERA-Projekte und zur Berechnung der Fördermittel finden Sie unter www.consolar.de -> Produkte -> SOLAERA -> Checkliste
anfragen@consolar.de www.consolar.com
Interessenten-Telefon: +49 (0)7621-42228-500

Consolar Solare Energiesysteme GmbH

Regio-Vertrieb
Strubbergstraße 70
60489 Frankfurt am Main
Fax: +49 (0)69-7409328-50

Änderungen und Irrtum vorbehalten

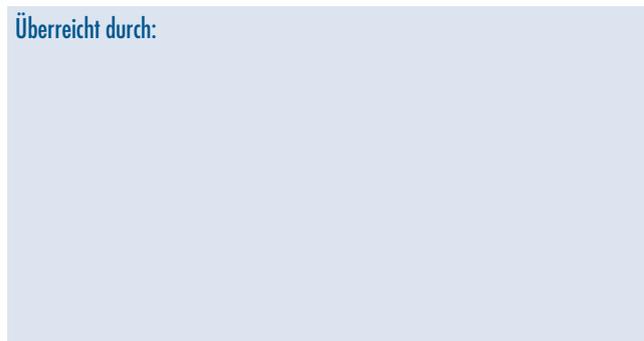
Consolar steht für eine besonders hohe Systemeffizienz bzw. einen geringen Energieverbrauch. Dafür beschreiten wir neue Wege und setzen immer wieder Maßstäbe.

Im südbadischen Lörrach wurde SOLAERA seit 2003 entwickelt und seit 2009 produziert. Consolar bietet seinen Kunden ein eigenes Service-Netz. Die Kollektor- und Solarleitungs-Montage kann auf Wunsch des Handwerkers durch einen regionalen Servicepartner durchgeführt werden. Jede Anlage wird nach der Inbetriebnahme durch den regionalen Service-Partner geprüft.

Hinweise zur Planung:

Die Anzahl der zum Einsatz kommenden Kollektoren beträgt 5-14 Stück. Bei Häusern mit sehr geringem Wärmebedarf können auch 3 oder 4 Kollektoren zum Einsatz kommen. Neigungswinkel: schneereiche Gebiete: 60 bis 90 Grad (Fassadenmontage). Gebiete mit wenig Schnee: ab 40 Grad.

Überreicht durch:



Anhang 5:

Datenblatt Consolar Hybridkollektor

Solar-Wärmetauscher:	SOLUS 560L	SOLUS 850L	SOLUS 1050L	SOLUS 800S	SOLUS 1000S
Werkstoff	Cu				
Fläche ¹⁾ (m ²)	2	2	3,1	2	2
Inhalt (l)	0,8	0,8	1,9	0,8	0,8
Maximale Anzahl von SOLAERA - Hybridkollektoren	6	9	11	9	9
k x A-Wert (für Wasser) (kW/K)	0,4 ²⁾	0,8 ³⁾	0,95 ⁴⁾	0,8	0,8
Spezifischer Volumenstrom ⁵⁾ (l/m ² h)	25	25	20	25	25
Minstdurchfluss Solar (l/min)	1,7	3	3	3	3
Druckverlust (für Wasser in mbar)	19 ²⁾	58 ³⁾	70 ⁴⁾	58	58
kvs (für Wasser in m ³ /h)	1	1	1,3	1	1
max. zulässige Temperatur (°C)	110				
max. zulässiger Betriebsdruck (bar)	8				

1) durch Kaminwirkung bei gleicher Fläche wesentlich leistungsfähiger als konventionelle WT, 2) bei 2,3 l/min, 3) bei 4 l/min, 4) bei 5,7 l/min, 5) bezogen auf Kollektorfläche

Warmwasser-Wärmetauscher:	SOLUS 560L	SOLUS 850L	SOLUS 1050L
Werkstoff	Cu		
Fläche ¹⁾ (m ²)	4,1	4,8	6
Inhalt (l)	7,1	10,4	14,7
k x A-Wert (kW/K)	2 ²⁾	2,4 ²⁾	4,5 ³⁾
Leistungsbereich (kW)	40 - 55	45 - 60	50 - 70
Druckverlust (mbar)	280 ²⁾	300 ²⁾	360 ²⁾
kvs (m ³ /h)	1,1	1,1	1,0
max. zulässige Temperatur (°C)	90		
max. zulässiger Betriebsdruck (bar)	8		
max. Zapfrate mit 45 °C ⁴⁾ (l/min)	13	17	20
NL-Zahl (10 kW-Kessel) ⁵⁾	1,7	4,2	5,7

NL-Zahl (30 kW-Kessel) ⁵⁾	2,6	6,4	6,9
--------------------------------------	-----	-----	-----

1) durch Kaminwirkung bei gleicher Fläche wesentlich leistungsfähiger als konventionelle WT, 2) bei 10 l/min, 3) bei 15 l/min, 4) geladener Bereitschaftsteil 55 °C, 5) Werte gelten für geladenen Bereitschaftsteil mit 60 °C, bei Vollbeladung oder höheren Temperaturen sind höhere Werte möglich. Da es für Kombispeicher kein Berechnungsverfahren für NL-Zahlen gibt, gelten die Werte als Orientierung.

2.5 SOLAERA-Hybridkollektor

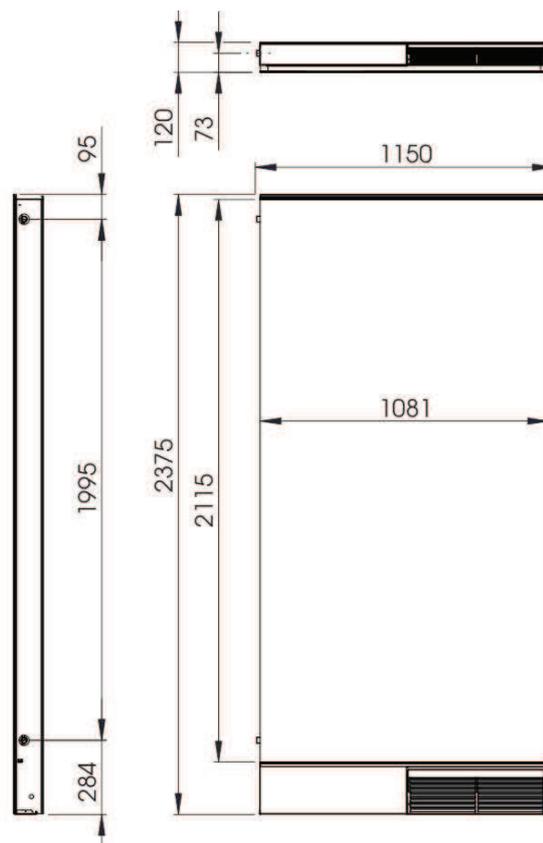
Kollektor	
Maße (B x H x T)	1150 x 2375 x 120 mm
Gewicht	ca. 55 kg
Bruttofläche	2,731 m ²
Aperturfläche	2,287 m ²
Absorberfläche	2,286 m ²
Wärmetauscherfläche Luft	9,70 m ²
Temperaturfühler	Tauchhülse für 6 mm Fühler im Sammler (1x pro Anlage)
Hydraulik	durchgehende Sammler oben u. unten (22 x 1,0 mm Cu), verb. durch Doppelmäander (8 x 0,4 mm Cu), auf den Absorber gelasert
Anschlüsse	Flansch mit Schelle
therm. Längenausgleich	Kollektorverbinder mit integr. Kompensator
max. Druck	6 bar
Druckabfall Wasser ¹⁾ 46,8 l/min (20 l/(m ² h))	12 mbar
Druckabfall Wasser ¹⁾ 103 l/min (45 l/(m ² h))	29,5 mbar
Druckabfall W-Glykol ²⁾ 46,8 l/min (20 l/(m ² h))	37 mbar
Druckabfall W-Glykol ²⁾ 103 l/min (45 l/(m ² h))	88 mbar
spez. Wärmekapazität ³⁾	C = 5,66 kJ/(K m ²)
Volumen Solarflüssigkeit	1,51 l
Spitzenleistung pro Kollektor	1836 W (G = 1000 W/m ²)
Wirkungsgrad η_0	0,803
Koeffizient a ₁	5,148 W/(m ² K)
Koeffizient a ₂	0,0083 W/(m ² K ²)
Stillstandstemperatur ¹⁾	175 °C
Winkelkorrekturfaktor IAM (50°)	0,83
Absorber Solar	Vollflächen-Kupferabsorber 0,2 mm
Beschichtung	hochselektive Schwarzchrom-Beschichtung

Absorptionsgrad	95 %
Emissionsgrad	8 %
Absorber Luft	Lamellen aus 0,2 mm Cu
Volumenstrom Luft	300 m ³ /h
Verglasung	Solarsicherheitsglas Float, innen strukturiert
Glasstärke	3,2 mm
Gehäuse	Profilrahmen aus witterungsbeständigem Aluminium
Dämmungsmaterial	HT-PIR
Dämmung Rückseite	25 mm PIR, 55 mm Luft
Dichtungen Front	EPDM, umlaufend
Einbauart	stehend
Montagearten	Aufdach (ggf. angehoben, mind. 40/60°), Fassade, Freifeld oder Flachdach (aufgeständert Standard: 60°, mind. 40°)

1) bei 20 °C; 2) bei 20 °C, 40 % Ethylenglykol; 3) gem. EN 12975-2;

Ventilator	
Bauart	Axiallüfter
Nennspannung	1~230 V, 50 Hz
Nennleistung	15 W
Betriebsart	Spannungsregelung in 2 Stufen
Schalldruckpegel bei 5er Kollektorfeld (in 5 m Abstand und 1 m Höhe gemessen)	Bei Lüfterleistungen von: Stufe Min = 47,1 dB(A) Stufe Max = 49,1 dB(A)
Hintergrundschallpegel	47-48 dB(A)

Maßskizze Kollektor



Qualitäts- und Leistungstest, Listung

Qualitäts- und Leistungstest nach EN 12975-1 und -2:2006-06 wurden mit Serienkollektoren erfolgreich absolviert. Der SOLAERA-Hybridkollektor ist mit dem europäischen Qualitätslabel Solar Keymark ausgezeichnet und ist bei DIN CERTCO registriert.

Prüfbericht-Nr. des Fraunhofer-ISE: KTB Nr.: 2009-25-k2
DIN CERTCO Registrier-Nr.: 011-7S1015 F



Der Kollektor ist beim BAFA in Deutschland gemäß der Richtlinien für die Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien gelistet.

Der Kollektor ist weiterhin beim Bundesamt für Energie BFE in der Schweiz gelistet.

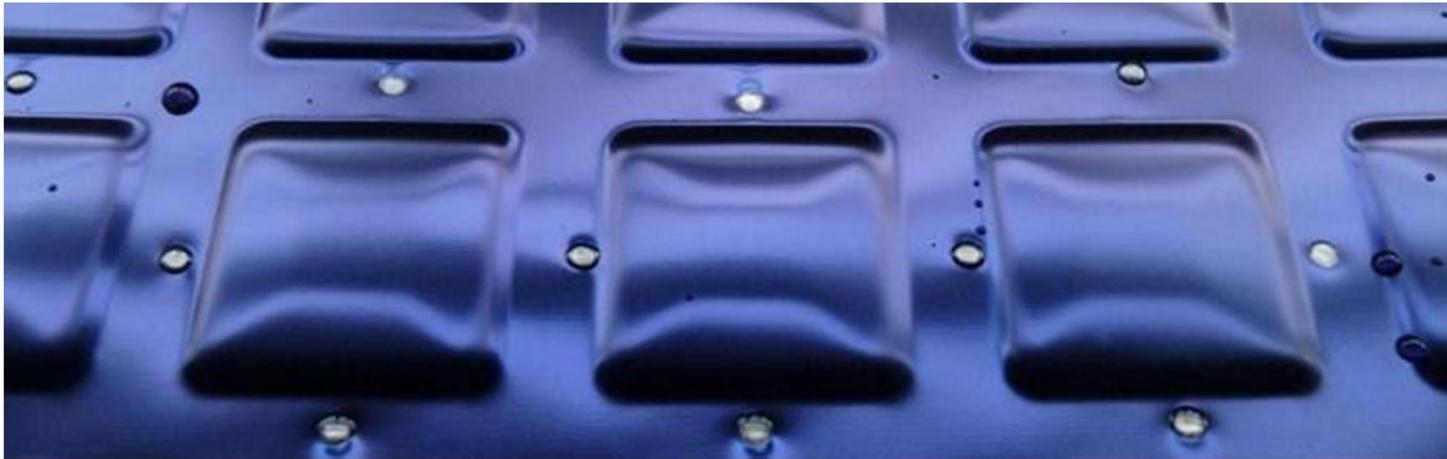
2.6 SOLAERA-Systemregler

Grundgerät	
Schutzart	IP 20
Betriebsspannung	230 V ±10 %, 50 Hz AC
Leistungsaufnahme	max. 14 VA
Regler	

Anhang 6:

Energie Solaire Produktdokumentation

ICESOL – PAC solaire avec stock à changement de phase



Systeme de pompe à chaleur solaire avec stock de glace Un nouveau moyen de se chauffer

Plus d'apport solaire,
réfléchi & efficace

ICESOL – PAC solaire avec stock à changement de phase

L'idée:

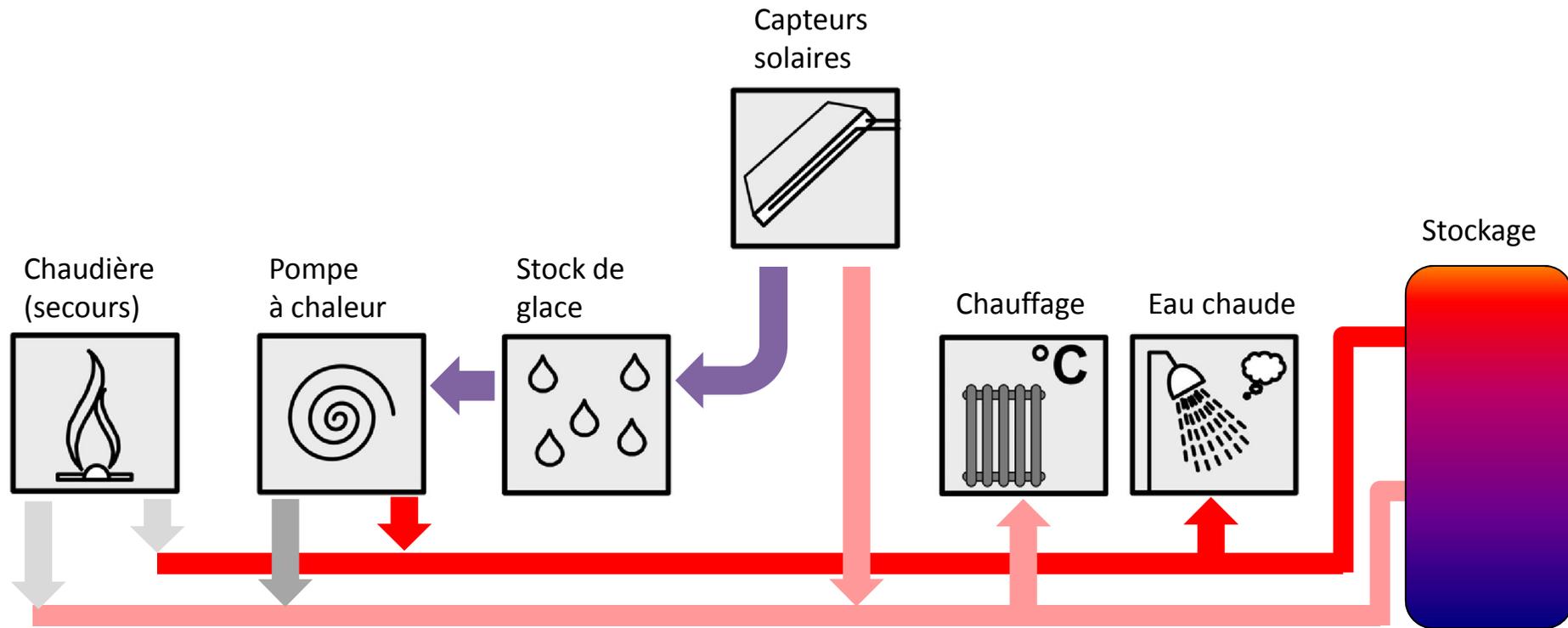
- Un champ de capteurs solaires largement dimensionné fournit toute la chaleur nécessaire pendant une grande période de l'année.
- Par faible ensoleillement les capteurs solaires sont utilisés comme source d'énergie d'une pompe à chaleur (PAC) en combinaison avec un stock à changement de phase (eau/glace).
- Utilisation optimale des apports solaires: 80% de l'énergie de chauffage est fournie par l'énergie solaire.
- Le solaire : une source d'énergie inépuisable.
- Performant et économique.



Qui désire chauffer intelligemment à l'avenir,
doit exploiter au mieux l'apport du soleil et de l'air ambiant.

ICESOL – PAC solaire avec stock à changement de phase

Le concept

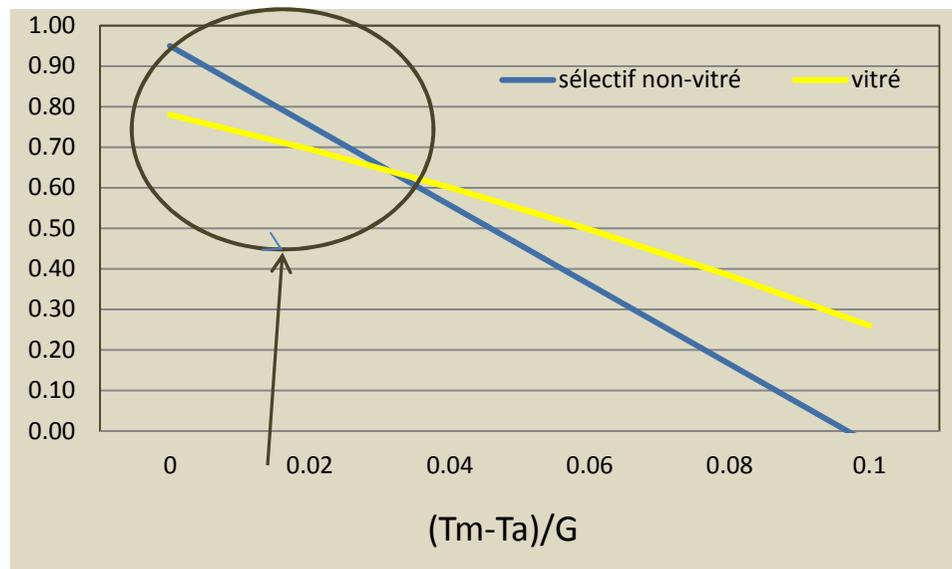


ICESOL – PAC solaire avec stock à changement de phase

Capteurs sélectifs non-vitrés

DOUBLE FONCTION

Utilisation comme capteur SOLAIRE



Très haute efficacité du capteur jusqu'à 95% lors de l'utilisation en basse température.

Hiver: utilisation comme source de chaleur pour la PAC.

Automne, été, printemps: utilisation directe.

Utilisation comme échangeur sur l'AIR AMBIANT

Apports dépendants de:

- convection (vent)
- condensation sur les capteurs
- pluie

Apports typiques: 150 W/m²

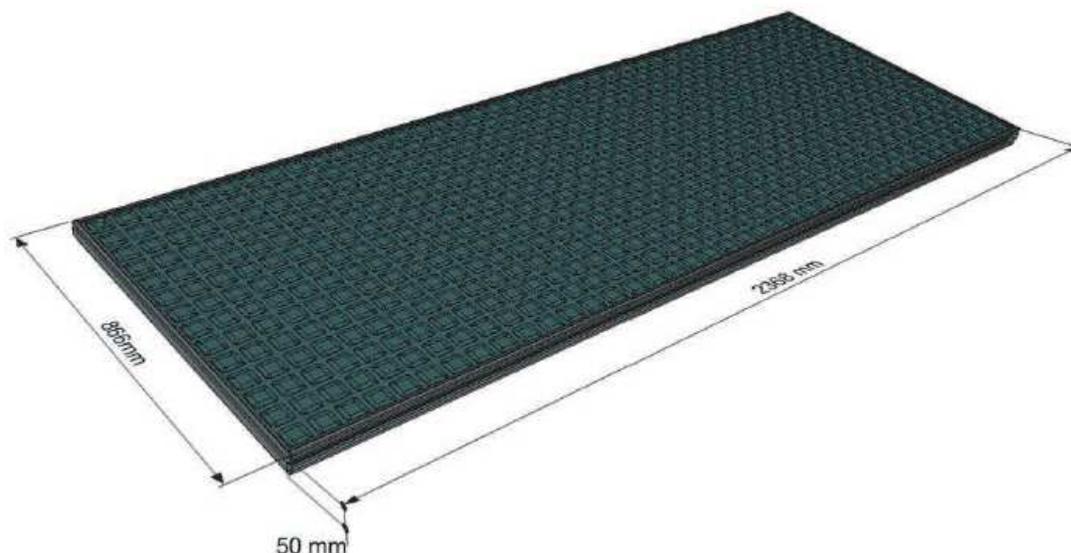
Les capteurs sont utilisés comme source de chaleur pour la pompe à chaleur, 24 h par jour, même la nuit lorsque le rayonnement solaire = 0 W.

Anhang 7:

Datenblatt Energie Solaire Kollektor AS

Kollektor AS

Unverglaste Kollektoren aus Edelstahl, flüssigkeitsdurchströmt über die komplette Kollektorfläche, mit selektiver Beschichtung, Rahmen aus einbrennlackiertem schwarzen Aluminium, rückseitig gedämmt durch 2 Polyester Wellplatten.



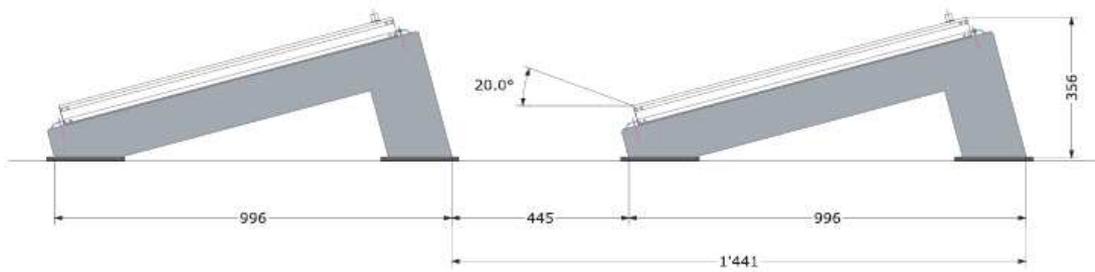
Beschreibung:

Gesamtlänge	2.368 mm ± 2 mm
Gesamtbreite	866 mm ± 1 mm
Aktive Länge	2.360 mm ± 2 mm
Aktive Breite	860 mm ± 1 mm
Aktive Fläche	2,03 m ²
Gewicht, leerer Kollektor	30,6 kg
Volumen	5,2 l
Durchmesser der Anschlüsse	ISO G 3/8" für Flachdichtungen
Wärmekapazität (befüllt)	20 kJ/m ²
Maximaler Betriebsdruck	3 bar
Nominaler Durchfluss	40 l/h m ²
Druckverlust bei nominalem Durchfluss	≤ 400 Pa
Selektive Beschichtung AS	
Absorptionskoeffizient	≥ 0.94
Emissionsgrad	≤ 0.18
Test SPF	C420—C970
SOLARKEYMARK	n°08-4277

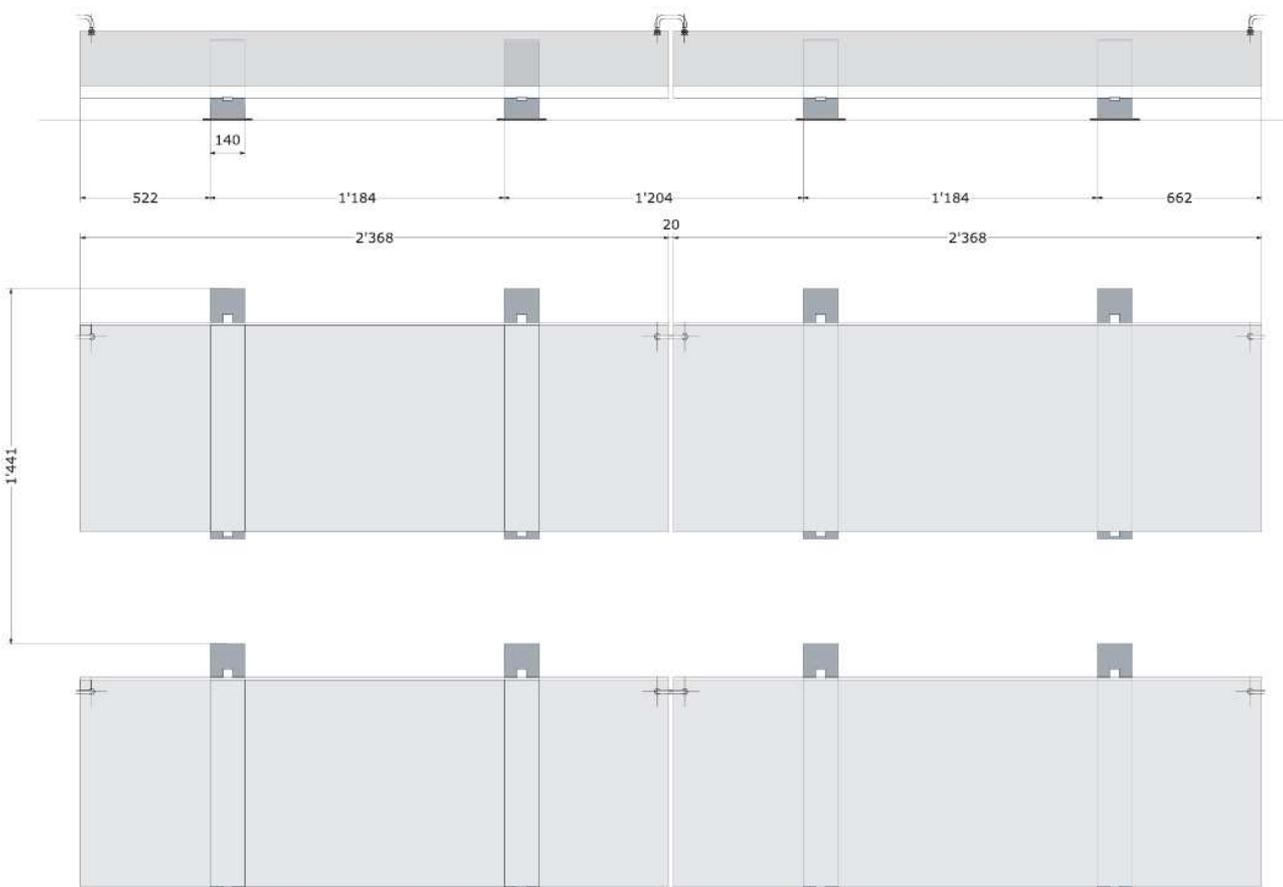
Wärmeträger-Flüssigkeit:

Wasser ohne Chlorid (Cl), gemischt mit Propylen Glycol und einem korrosionshemmenden Produkt.

Kollektor AS — Montage auf Sockeln mit 15° Neigung



Die Abmessungen sind in mm angegeben. Der Mindestabstand zwischen den Sockeln erlaubt eine optimale Einstrahlung während des ganzen Jahres.



Gewicht, leerer Kollektor 30,6 kg

Gewicht Sockel 46 kg

Maximale Anzahl Kollektoren hintereinander 4

Die Verbindung zwischen den Kollektoren und zum Vor- und Rücklauf erfolgt über Edelstahlwellschläuche 3/8" und Kugelventile 3/8". Die Kollektoren werden mit 4 Klemmhaken, Edelstahlschrauben \varnothing 5 x 50 mm und Dübeln \varnothing 6 x 30 mm auf den Sockeln befestigt.

Die Lieferung enthält 2 Schutzmatte und 2 Filzstreifen pro Sockel. Anschlussrohrleitungen auf Anfrage.

Gesamtbreiten der Kollektorfelder:	1	2	3	4	Kollektoren
	2.368	4.756	7.144	9.532	mm

EnergieSchweiz

Bundesamt für Energie BFE; Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 058 462 56 11, Fax 058 463 25 00; contact@bfe.admin.ch; www.energie-schweiz.ch