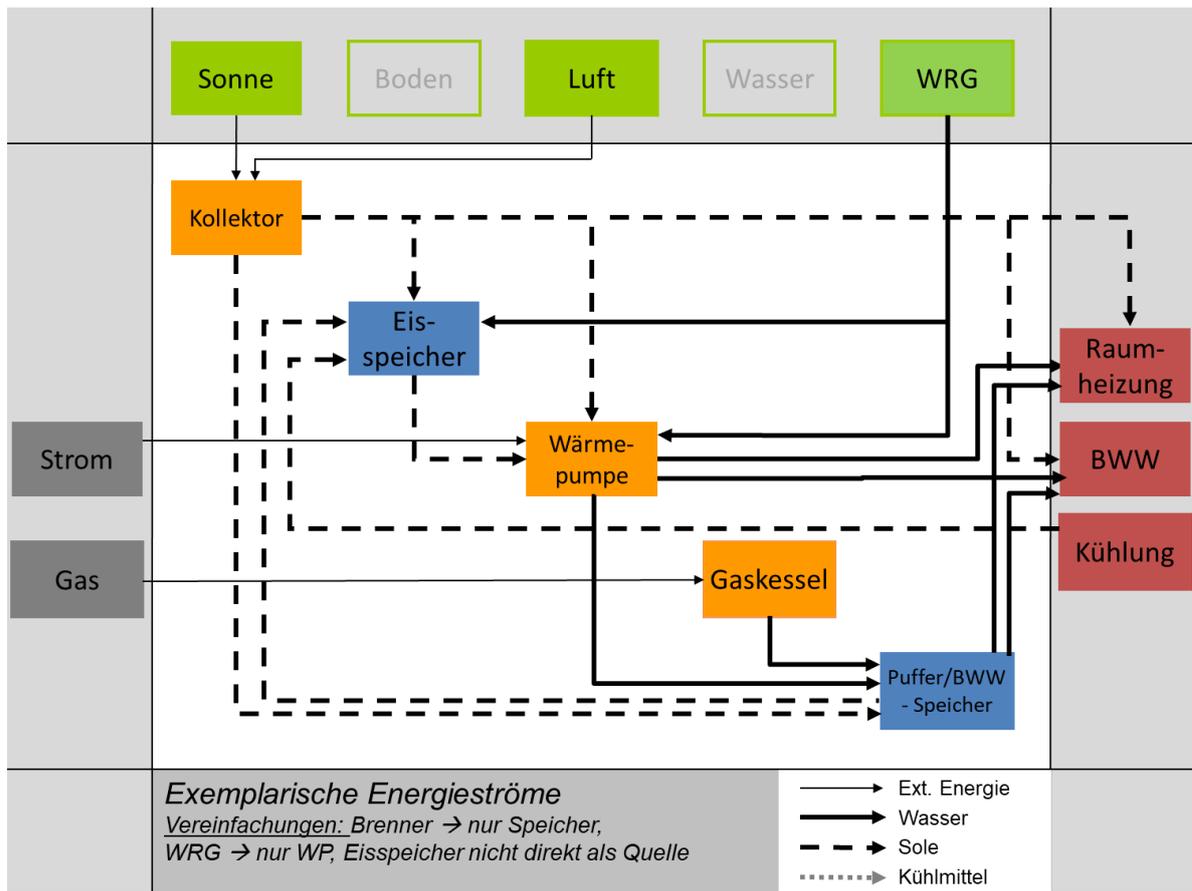




Bericht vom 21. November 2018

IceCheck

Auswertung solarer Eisspeicher-Systeme für Mehrfamilienhäuser in der Schweiz





Datum: 21. November 2018

Ort: Bern

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmerin:

Frank Energy GmbH
Herrenberg 35, 8640 Rapperswil
www.frank-energy.com

Autor:

Elimar Frank, elimar.frank@frank-energy.com

BFE-Projektbegleitung: Men Wirz, men.wirz@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501682-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Zusammenfassung

Um eine Einschätzung zum Stand der Entwicklung, lessons learnt, der Einordnung im Markt und dem weiteren Innovationspotential zu ermöglichen, wurden verfügbare Informationen von sieben solaren Eisspeicher-Systemen (SES), die in den vergangenen Jahren in der Schweiz für Mehrfamilienhäuser (MFH) realisiert worden sind, ausgewertet.

Die bisher realisierten Systeme decken eine grosse Bandbreite an Kombinationen von Komponenten und Verschaltungen und verschiedene Anwendungsfälle und -grössenordnungen ab:

- Monovalent/bivalent
- Verschiedene Kombinationen von Wärmequellen für Eisspeicher (inkl. Wärmerückgewinnung Abluft, Abwasser und Kühlung)
- Zwei unterschiedliche Kollektor-Typen
- Teils reine Wohngebäude, teils auch mit Gewerbeflächen
- Renovierung (bisher nur bivalent) und Neubau mit Grössen von ca. 2'000 m² EBF bis 19'000 m².
- Eisspeicher von 5 bis >1000 m³

Die SES in MFH konnten Jahresarbeitszahlen zwischen 3.5 und 4 erreichen. Bisher werden SES meist bei ambitionierten Zielen bezüglich des Anteils erneuerbarer Energien und bei Bauvorhaben eingesetzt, in denen keine Erdsonden-Bohrungen in Betracht kommen und allenfalls auch weitere Einschränkungen z.B. bzgl. Lärm- und Feinstaubemissionen. Die untersuchten SES haben dabei keine grundlegenden Funktionsdefizite gezeigt. Allerdings war insbesondere bei den detaillierter dokumentierten Projekten ein oft erheblicher performance gap festzustellen, der einerseits Anpassungsmassnahmen, die nicht direkt mit des SES zusammenhängen, erforderlich machte und andererseits die systematische Auswertung der SES bezüglich der einzelnen Energieströme und der Ermittlung der Jahresarbeitszahl (JAZ) erschwerte. Hinzu kommt eine sehr inhomogene Daten- und Informationsgrundlage hinsichtlich von Umfang und Qualität, so dass zusammen mit der vorab unterschätzten Unterschiedlichkeit der Systeme die zu untersuchenden Aspekte bislang nur mit Einschränkungen zu qualitativen Vergleichen genutzt werden konnten.

Bei den lessons learnt fiel auf, dass diese weniger die SES als vielmehr grundlegende Herausforderungen bei der Umsetzung von effizienten Wärmeversorgungssystemen betreffen. Systemübergreifend sind für die Wärme- (und Kälte-) Versorgung von MFH (ggf. mit zusätzlichen Gewerbeflächen) für SES (wie gleichsam aber auch für Referenzsysteme z.B. mit Erdwärmesonden) der Umgang mit dem performance gap, eine gute Einstellung der Heizkurve und der Parametrisierung der Wärmepumpe sowie eine möglichst einfache Hydraulik mit geringem Stromverbrauch der Hilfsaggregate zu beachten bzw. anzustreben.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Inhaltsverzeichnis	4
Ausgangslage	5
Ziele des Projektes	5
Einordnung	5
Vorgehen und Methode	5
Ergebnisse	6
Kategorisierung der Systemkonzepte	6
Lessons learnt	10
Kosten	13
Entscheidungspfad.....	14
Innovationspotential	15
Diskussion	15
Referenzen	17
Anhang A: Kurzbeschreibung Systemkonzepte	18
Genf «LaCigale».....	18
Conches «Chemin de Velours».....	19
Rapperswil «Lattenhofweg»	20
Schocherswil	21
Amriswil «Neustudenpark».....	22
Bern «Weltpoststrasse»	22
Uznach «Planungszentrum Linth AG»	23
Anhang B: Systemdaten	25
Anhang C: Ergebnisse des Workshops	29
Abkürzungsverzeichnis	33

Ausgangslage

In den letzten Jahren wurden in der Schweiz zahlreiche Projekte mit Eisspeichern für Mehrfamilienhäuser (teilweise auch mit gewerblicher Nutzung) realisiert, die jeweils unterschiedliche spezifische Rahmenbedingungen und Technologiekombinationen aufweisen. Aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge in den Einzelprojekten und den überwiegend sehr unterschiedlichen Darstellungen ist das Identifizieren und Übertragen von lessons learnt schwierig. Gleichzeitig werden vermehrt neue Projekte mit Solarkollektoren, Eisspeichern und Wärmepumpen sowie unterschiedlichen Wärmequellen und -senken auf unterschiedlichen Temperaturniveaus vorgeschlagen. Dass bisher selbst bei ähnlich ausgerichteten Projekten bisherige positive und negative Erfahrungen anhand der zugänglichen Dokumentation kaum übertragbar sind, verlangsamt eine zielgerichtete Entwicklung der Technologie.

Ziele des Projektes

Mit diesem Projekt wird versucht, die verfügbaren Informationen von sieben solaren Eisspeicher-Systemen, die in den vergangenen Jahren in der Schweiz realisiert worden sind, auszuwerten und in einen möglichst gut vergleichbaren Zusammenhang zu bringen, um eine Einschätzung zum Stand der Entwicklung, lessons learnt, der Einordnung im Markt und dem weiteren Innovationspotential zu ermöglichen. Dies soll relevanten Zielgruppen dienlich sein, beispielsweise Planer/Bauherren, die neue Projekte entwickeln und planen.

Einordnung

Das hier beschriebene Projekt zielt vor allem auf das Zusammentragen von Erfahrungen aus der aktuellen Praxis und auf die Darstellung weiterführender Umsetzungsmöglichkeiten ab. Der Detaillierungsgrad der Untersuchung ist deswegen weniger ausgeprägt als in vorgängigen Studien ([1], [2]), in denen für den Einsatz bei Einfamilienhäusern bereits Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen mit Sonnenkollektoren, in denen sowohl Aussenluft wie auch die Sonnenstrahlung als primäre Wärmequelle für die Wärmepumpe genutzt werden, unter den Aspekten der Wirtschaftlichkeit und der Umweltbelastung untersucht wurden. Die hier beschriebene Untersuchung umfasst verschiedene Technologiekombinationen (einschliesslich Wärmerückgewinnung) solarer Eisspeicher-Systeme für Mehrfamilienhäuser, die zum Teil auch Gewerbeflächen einschliessen. Um als Orientierungshilfe zu dienen, wurde auf allzu detaillierte Betrachtungen verzichtet.

Vorgehen und Methode

Die Ergebnisse abgeschlossener und laufender Umsetzungsprojekte mit solaren Eisspeicher-Systemen wurden durch Recherchieren und Zusammentragen schriftlicher Berichte und Artikel sowie durch bilaterale Diskussionen mit involvierten Experten gezielt ausgewertet und analysiert. Ein Überblick über die Ergebnisse wurde bei einem Workshop mit den befragten Experten und Vertretern verschiedenen Stakeholder-Gruppen (Bauherren, Architekten, Planer und Systemanbieter) diskutiert. Eine Begleitgruppe des BFE hat die Prozesse zur Ausarbeitung der Projektergebnisse begleitet.

Für einen übersichtlicheren Vergleich der verschiedenen Systemkonzepte wurden die Darstellungen der Hydraulik mittels der in Frank et al. (2010) beschriebenen Square-View-Methode vereinfacht abgebildet (vgl. [3] und die Kurzbeschreibungen der einzelnen Systeme in Anhang A).



Ergebnisse

Kategorisierung der Systemkonzepte

Die sieben bisher in die Studie einbezogenen Konzepte sind in Tabelle 1 aufgelistet und mit einigen Angaben charakterisiert. Eine genauere Beschreibung der einzelnen Systemkonzepte befindet sich in Anhang A.

Tabelle 1: Gegenüberstellung ausgewählter Charakteristika der sieben untersuchten Eisspeicher-Systeme.

	Genf «LaCigale»	Conches «Chemin de Velours»	Rapperswil «Lattenhof- weg»	Schochers- wil	Amriswil «Neustu- denpark»	Bern «Welt- post- strasse»	Uznach «Planungs- zentrum»
P&D-Proj.	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja
Monovalent	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Neubau	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Kühlung	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Solar direkt	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Gebäude- standard	Minergie-P	Minergie	- (MuKE n)	Minergie-A	Minergie-A	Minergie- eco, SIA 2040	Unbekannt

Umfang, Verfügbarkeit und Qualität der Dokumentation, beispielsweise der Messungen und Auswertungen, unterscheiden sich je nach Projekt, wobei bei P&D-Projekten mehr Informationen vorliegen. Die Projekte «Genf LaCigale» und «Uznach Planungszentrum» sind abgeschlossen und die Berichte verfügbar (vgl. [4] und [5]). In den Projekten Conches und Rapperswil liegen Zwischenberichte über das erste ausgewertete Messjahr vor (noch nicht öffentlich). Informationen zu den Systemen Schocherswil und Amriswil stammen – soweit verfügbar – aus Zeitschriften-Artikeln und Angaben des Bauherrn (Curiger Immobilien AG) und des Systemanbieters (Viessmann Schweiz AG).

Unter monovalenten Systemen werden in diesem Bericht solche SES verstanden, bei denen die gesamte Wärmebereitstellung allein über das SES erfolgt (d.h. durch die zum SES gehörige Wärmepumpe(n) und ggf. der direkten Solarwärmenutzung). Diese Definition ist einerseits wichtig, weil bei monovalenten Systemen das benötigte Eisspeicher-Volumen um ein Vielfaches grösser und auch die Wärmequellen für Eisspeicher und Wärmepumpe entsprechend geplant werden müssen.¹ Andererseits spielt in die Definition von «monovalent» bereits die Problematik hinein, mit welchen Werten bei der Planung effektiv gerechnet und welcher «performance gap» bereits einbezogen wird.

Die Gegenüberstellung von zwei Systemen in Abbildung 1 soll den Unterschied zwischen einem bivalent geplanten und einem monovalent geplanten System verdeutlichen. Das links im SquareView dargestellte System in Conches (EBF: 2'975 m²) umfasst einen Spitzenlast-Gaskessel (72 kW), der für etwa 5% der gesamten Wärmemenge des Jahres aufkommen soll (Planungswert ca. 164 MWh/a Gesamtwärmebedarf). Durch zusätzlichen Eintrag von Wärme aus einer Abluft-Wärmerückgewinnung

¹ Genaue Untersuchungen liegen dazu noch nicht vor und werden voraussichtlich im laufenden Forschungsprojekt «BigIce» ermittelt. Es ist aber schätzungsweise mit einem mehr als 30mal grösseren benötigten Eisspeicher-Volumen zu rechnen, wenn die Spitzenwärmelast von etwa 5% des Jahreswärmebedarfs nicht z.B. mit einem Gaskessel bereitgestellt wird. Natürlich hängt dies zusätzlich von dem spezifischen Eisspeicher-Design und Konstruktionsprinzip, der Art und Grösse der Wärmequellen Solar/Umgebung und WRG, der Systemregelung und zusätzlichen Nutzungsmöglichkeiten wie sommerlicher Kühlung ab.

wurde bei einer Kollektorfeldgrösse von 84 m² ein Eisspeicher-Volumen von 5 m³ realisiert. Das rechts im SquareView dargestellte System in Rapperswil (EBF: 2'050 m²) ist monovalent geplant und entsprechend gibt es keinen Energieeintrag für die Wärmeversorgung über ein zusätzliches Gerät, und auch eine WRG ist in diesem System nicht vorgesehen. Für eine geplante Jahreswärmemenge von ca. 90 MWh wurden hier (bei gleichem Kollektor) 120 m² Kollektoren und 210 m³ Eisspeicher geplant.

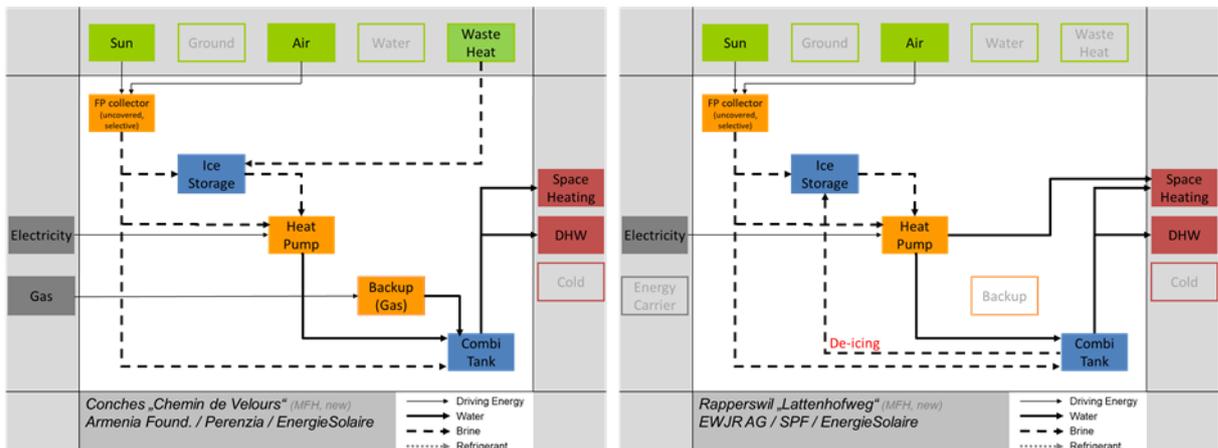


Abbildung 1: Vergleich der SquareViews eines bivalent und eines monovalent geplanten Systems.

Natürlich wird die Entscheidung, ob ein System monovalent oder bivalent geplant wird, die erzielbare System-Jahresarbeitszahl verändern.² Auch hierzu können jedoch aufgrund der im Rahmen dieser Studie erfolgten Erhebungen keine konkreteren verallgemeinerbaren Aussagen getroffen werden, weil die JAZ noch von vielen weiteren Spezifika der Systeme abhängt (z.B. der direkten Solarwärmenutzung auf der Senkenseite der Wärmepumpe, der Einbindung von sommerlicher Kühlung über den Eisspeicher und dem entsprechenden Verzicht auf solare Regeneration des Eisspeichers) und es möglich ist, Systeme vorwiegend mit Hinblick auf die Effizienz (hohe JAZ) oder auf die Wirtschaftlichkeit (tiefe Kosten) auszulegen. Ein belastbarer Vergleich kann also nicht anhand der Auswertung einer eher kleinen Anzahl umgesetzter Systeme erreicht werden, sondern muss durch umfangreiche Systemsimulationen erfolgen.

Nur eins der betrachteten Systeme wurde in einem Sanierungsprojekt eingesetzt, die übrigen im Neubau. Es ist davon auszugehen, dass solare Eisspeicher-Systeme (SES) häufiger bei Neubau-Projekten zum Einsatz kommen, und bei Sanierungsprojekten selten monovalente Systeme geplant werden, weil wie beschrieben bei diesen das benötigte Eisspeicher-Volumen sehr viel grösser ist.

Die Energiebezugsfläche (EBF) der Systeme liegt zwischen ca. 1'700 m² (Schocherswil) und ca. 19'000 m² (Genf La Cigale), also eine Spreizung um etwa Faktor 11. Der jährliche Gesamtwärmebedarf reicht von <100 MWh/a (Planung Rapperswil Lattenhofweg) bis ca. 1'300 MWh/a (gemessen, Genf La Cigale) und hat eine ähnliche Spreizung (etwa Faktor 13).

² Ein Beispiel: Ein solares Eisspeicher-System, das monovalent eine JAZ von 4.2 hat, wird, wenn von der gleichen jährlichen Wärmemenge nur 95% mit einer JAZ von 4.2 bereitgestellt werden, eine JAZ von 3.6 haben, wenn die verbleibenden 5% z.B. mit Gas und einem COP von 1.0 erzeugt werden.

Abbildung 2 zeigt eine Übersicht zu EBF und jährlichem Gesamtwärmebedarf der betrachteten Systeme. Dabei ist anzumerken, dass für Bern, Amriswil, Schocherswil und Uznach aus verschiedenen Gründen kein Wärmebedarf angegeben werden kann.³

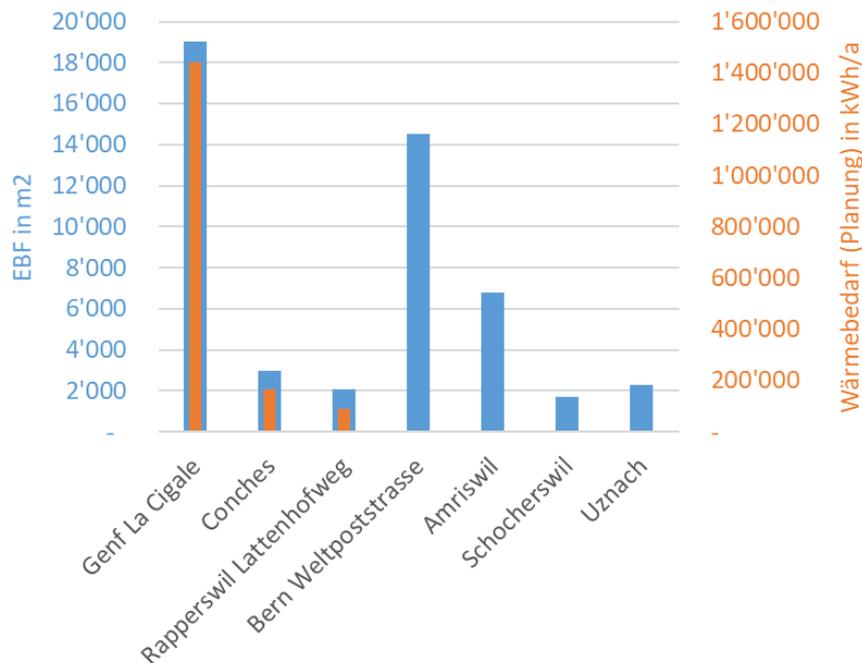


Abbildung 2: EBF und jährlicher Gesamtwärmebedarf (gemäss Planung) der Systeme. Für die Systeme Bern, Amriswil, Schocherswil und Uznach liegen keine belastbaren Angaben zum Gesamtwärmebedarf vor.

Die Eisspeicher-Volumina reichen von 5 m³ (Conches) bis etwa 1'360 m³ (Bern Weltpoststrasse) und weisen eine erhebliche Spreizung auf (etwa Faktor 272), was neben der Skalierung der Projekte vor allem an der erwähnten Unterscheidung zwischen mono- und bivalenten Konzepten liegt. Die Eisspeicher sind bei den bivalenten Systemen innerhalb der Gebäude aufgestellt und bei den übrigen Systemen ausserhalb der Gebäudehülle im Erdreich platziert, mit Ausnahme vom System in Rapperswil, wo der Eisspeicher nur mit einem kleinen Teil des Volumens ausserhalb des Gebäudes im Erdreich ist.

Als Solarkollektoren werden in den betrachteten Systemen entweder unabgedeckte selektiv beschichtete Flachkollektoren der Firma Energie Solaire S.A. (Genf, Conches und Rapperswil) oder Solar-Luft-Kollektoren der Firma Viessmann AG (übrige Projekte) eingesetzt. Bei Letzteren handelt es sich um schwarze doppellagig montierte Kunststoffröhren, bei denen der grössere Teil der bereitgestellten Wärme durch Wärmeübertragung von der Umgebungsluft resultiert. Teilweise (wie in Amriswil) werden diese Solar-Luft-Kollektoren entsprechend auch nicht auf dem Dach, sondern als vertikale «Register» zwischen den Häusern installiert. Die beiden Kollektor-Technologien weisen völlig unterschiedliche Entwicklungsziele und Wärmebereitstellungsprofile auf, was wiederum eine Vergleichbarkeit der Systemkonzepte erschwert.

³ Bern: Das Projekt befindet sich in der Umsetzungsphase und der Planungswert wurde als vertraulich eingestuft. Uznach: Ein Gesamtwärmebedarf könnte – allerdings mit grosser Ungenauigkeit – aus den im Schlussbericht angegebenen Messdaten abgeleitet werden, allerdings wird nicht nur Wärme, sondern auch Kälte vom solaren Eisspeicher-System bezogen. Schocherswil und Amriswil: Systematische Messungen des Wärmebedarfs bzw. der Wärmelieferung des Systems liegen nicht vor bzw. wurden nicht bereitgestellt, und die als konservativ eingeschätzten Planungswerte wurden vom Systemanbieter nicht für die Auslegung zugrundegelegt.



Abbildung 3: Die beiden unterschiedlichen Kollektor-Konzepte, die in den Systemen eingesetzt werden: Links der selektiv beschichtete Edelstahl-Kissenabsorber von Energie Solaire, rechts die doppellagig angeordneten Kunststoffrohre von Viessmann.

Die Kollektorfeldgrössen reichen von ca. 80 m² (Uznach/Viessmann und Conches/Energie Solaire) bis 1'700 m² (Genf La Cigale/Energie Solaire), Teilweise war jedoch nicht eindeutig, ob es sich um Absorberfläche, Bruttofläche Kollektor oder für diese spezifische Installation benötigte Brutto-Dachfläche handelt. Da je nach eingesetztem Kollektor ausser der Solarstrahlung absorbierenden Oberfläche ein Teil des Kollektors für den Wärmeaustausch des im Kollektor fliessenden Wärmeträgers mit der Umgebungsluft vorgesehen ist, können pro m² Dachfläche bauartbedingt sehr unterschiedliche Erträge erzielbar sein, deren Anteil an in Wärme umgewandelter Solarstrahlung und aus der Umgebungsluft übertragener Wärme sich erheblich unterscheiden. Dies ist bei einem Vergleich von Kollektorflächen bei SES, die sonst bei solarthermischen Systemen einen guten Indikator darstellen, zu beachten.

Bei allen betrachteten Systemen kamen keine verglasten Kollektoren und keine PV/T-Kollektoren zum Einsatz.

Nur die Viessmann-Systeme (Uznach, Schocherswil, Amriswil, Weltpoststrasse) stellen im Sommer Nutzkälte für die Raumkühlung bereit. Nur die Systeme mit Energie Solaire-Kollektoren (La Cigale, Conches, Lattenhofweg) schliessen eine direkte Nutzung der Solarwärme ein für Heizung und BWW auf der Senkenseite der Wärmepumpe. Diese Spezifika lassen sich gut den einzelnen SquareViews der Systeme in Anhang A entnehmen.

In einem System (Conches) wurde eine Wärmerückgewinnung (WRG) aus der Abluft der Räume in den Eisspeicher realisiert, bei einem weiteren System (Bern Weltpoststrasse) ist eine WRG aus Abwasser vorgesehen, die jedoch nicht zur Beladung des Eisspeichers verwendet wird, sondern als alternative Wärmequelle für die BWW-Bereitung über eine dafür vorgesehene Wärmepumpe dient.

Zusätzlich zu den SquareViews fasst Tabelle 2 die unterschiedlichen Kombinationen von Wärmequellen für die Eisspeicher der betrachteten Systeme zusammen. Wärmesenke des Eisspeichers ist/sind immer ausschliesslich die Wärmepumpe/n. Bei der Wärmerückgewinnung aus der Abluft ist zu beachten, dass möglicherweise separat (wie z.B. in La Cigale) eine Komfortlüftung installiert ist, die keine



Wärme für den Eisspeicher liefert, sondern den Gesamtwärmebedarf auf der Senkenseite der Wärmepumpe reduziert. Bei den monovalent ausgelegten SES (mit entsprechend grossen Eisspeichervolumina) ist (v.a. bei der Platzierung des Eisspeichers ausserhalb der Gebäudehülle) mit einem nennenswerten Wärmeeintrag aus der Umgebung zu rechnen.

Tabelle 2: Wärmequellen der Eisspeicher

	Genf «LaCigale»	Conches «Chemin de Velours»	Rapperswil «Lattenhof- weg»	Schochers- wil	Amriswil «Neustu- denpark»	Bern «Welt- post- strasse»	Uznach «Planungs- zentrum»
Kollektor (Solar/Luft)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
WRG Abluft	-	Ja	-	-	-	-	-
WRG Abwasser	-	-	-	-	-	Ja	-
Kühlung	-	-	-	Ja	Ja	Ja	Ja
Erdreich/ Umgebung			Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Als Zwischenfazit ist festzustellen, dass die Unterschiedlichkeit der Systeme und die jeweils sehr spezifische Ausgestaltung eine Vergleichbarkeit aufgrund von Kategorisierungsaspekten (anders als bei EFH) nicht zulassen. Einige lessons learnt der verschiedenen Projekte liessen sich aber dennoch aus den einzelnen Berichten und Gesprächen ableiten, die im kommenden Abschnitt beschrieben werden.

Lessons learnt

In diesem Abschnitt werden exemplarische Erfahrungen der einzelnen Anlagen beschrieben, die – zumindest ansatzweise – einen verallgemeinerbaren Charakter haben.

Bei der Realisierung der SES von Viessmann in Uznach, Schocherswil und Amriswil wurden verschiedene Erkenntnisse aus den Betriebserfahrungen für die Weiterentwicklung des grundsätzlich gleichbleibenden Systemkonzeptes genutzt. Beispielsweise wurde die Regelung so angepasst, dass der Eisspeicher über den gesamten Sommer für die Gebäudekühlung genutzt werden kann, woraus eine frühe Abschaltung der Beladung des Eisspeichers mit Wärme aus den Solar-Luftkollektoren und einer vorrangigen Verwendung des Eisspeichers als Wärmequelle für die Wärmepumpe(n) resultiert. Ausserdem wurde die hydraulische Verschaltung der Komponenten vereinfacht. Auch das Design des Eisspeichers und der Be- und Entladung wurde nach Herstellerangaben hinsichtlich einer möglichst guten Nutzung des Volumens verbessert. Da lediglich vom System in Uznach ein öffentlicher Bericht vorliegt [5], können weiterreichende Betriebserfahrungen (z.B. der Vergleich der Installation des Solar-Luftkollektors auf dem Dach in Schocherswil und senkrecht auf dem Boden zwischen den Häusern in Amriswil oder der Einfluss von Skaleneffekten auf die Dimensionierung von Kollektorfeld und Eisspeicher) zum jetzigen Zeitpunkt nicht vorgenommen werden. Die beschriebenen Erfahrungen mit der Anlage in Uznach [5] zeigten keine grundsätzlichen Schwierigkeiten mit dem SES (Funktion, Regelung), sondern vor allem bezüglich der Reduktion des Strombedarfs der Hilfsaggregate, was nach Herstellerangaben vor allem durch die Vereinfachung der Hydraulik aufgegriffen wurde.

Die Auswertung des erstem kompletten Messjahres für das System Rapperswil «Lattenhofweg» lag zum Berichtszeitpunkt noch nicht vor. Überraschenderweise lag bislang der Gesamtwärmebedarf unter den Erwartungen (sowohl für Raumwärme wie auch für BWW), und es konnte ein verlässlicher Betrieb des SES beobachtet werden, mit dem die Komfortbedingungen immer eingehalten werden konnten. Es wurden verschiedene Nach/Verbesserungen an Komponenten und Regelung durchgeführt, insbesondere hinsichtlich der Einstellung der Regelparameter der für diese Anlagen neu entwickelten Regelung. Dennoch ist der vorläufig ermittelte Systemnutzungsgrad mit 3.3 bislang noch nicht so hoch wie geplant (4.2). Weitere Massnahmen sind die Reduktion des Stromverbrauchs der Hilfsaggregate (was den Systemwirkungsgrad schätzungsweise auf 3.6 erhöht), die Anpassung der Heizkurve und (in Kombination) die Optimierung des Betriebs der Wärmepumpe. Die nur in diesem System eingesetzte Enteisung der Wärmeübertrager im Eisspeicher, mit denen der Material- und Installationsaufwand für die Wärmeübertrager reduziert werden soll, hat bislang nur wenig Energie aus dem Wärmespeicher benötigt (eine genauere Quantifizierung steht noch aus).

Hervorzuheben ist bei diesem Projekt die Auswertung mittels eines Q-T-Diagramms, wie es in Abbildung 4 dargestellt ist.

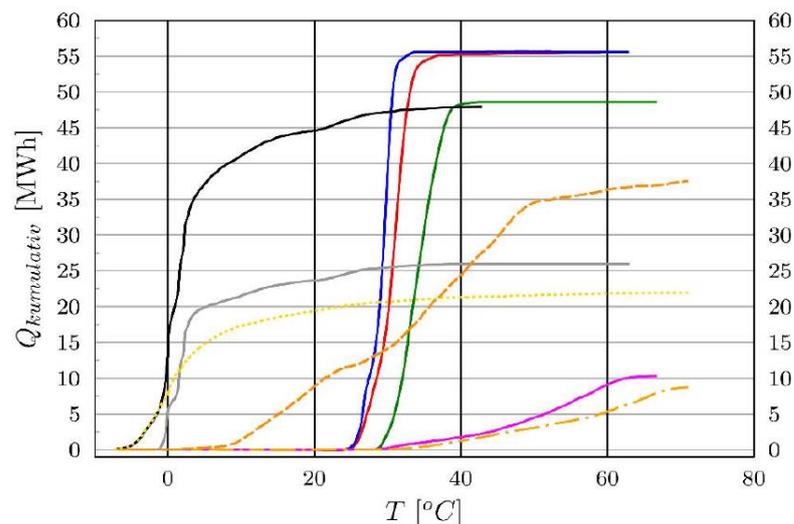
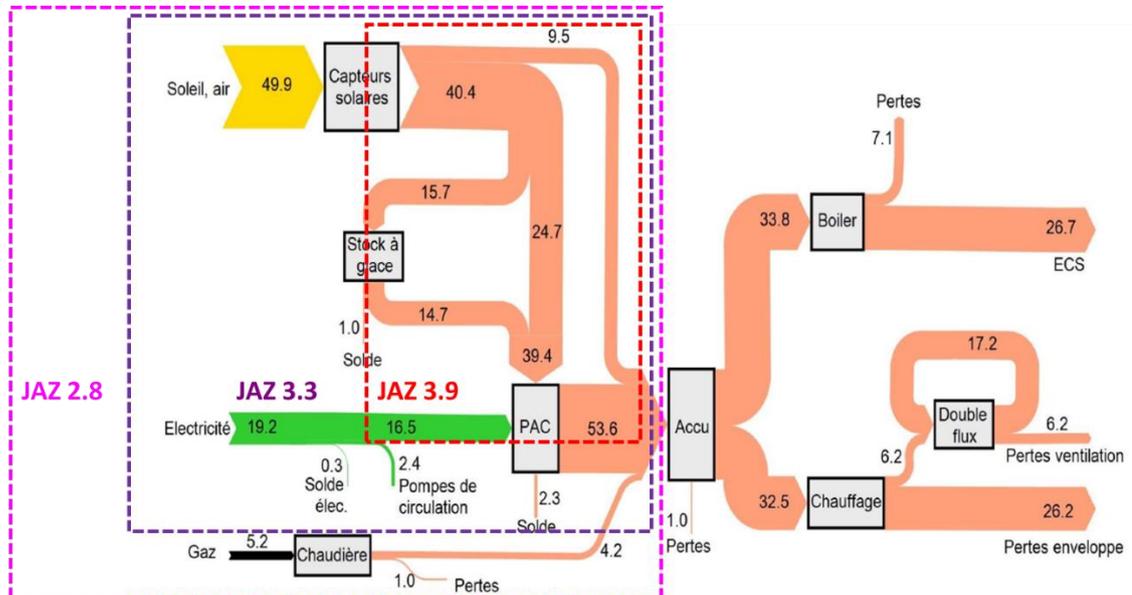


Abbildung 4: Exemplarisches Q-T-Diagramm, das für die Auswertung des P&D-Projektes Rapperswil «Lattenhofweg» verwendet wird. Aufgrund der noch laufenden Auswertung sind die einzelnen Kurven nicht spezifiziert.

Die gelben Kurven beschreiben beispielsweise die über einen bestimmten Zeitraum kumulierten Wärmemengen, die vom Kollektor bzw. Solarkreis direkt an den Verdampfer der Wärmepumpe (gepunktet), den Eisspeicher (gestrichelt) oder direkt an den Pufferspeicher (punkt-strich) gehen. In diesem Beispiel ist zu erkennen, dass etwa 7.5 MWh solare Wärme unter 0 °C direkt zum Verdampfer der Wärmepumpe geführt werden, um die Entladung des Eisspeichers zu verringern, was unter Inkaufnahme eines geringeren COP eine Entlastung des Eisspeichers im Winter ermöglicht.

Das SES in Genf «La Cigale» ist das bislang mit Abstand am besten dokumentierte Projekt, von dem zwei komplette Messjahre samt detaillierter Auswertung vorliegen. Die lessons learnt sind in [4] umfangreich beschrieben. Zusammengefasst wurde ein deutlicher Mehrverbrauch beim Warmwasser und der Heizung gemessen verglichen mit den Planungswerten, aber dennoch konnte das SES eine zufriedenstellende Systemjahresarbeitszahl von 3.9 erreichen (ohne Einbezug des Gaskessels, der gemäss Systemanbieter als Spitzenlastkessel bzw. Abdeckung des performance gap dient). Hierbei ist

anzumerken, dass die Definition der Systemjahresarbeitszahl erheblich von der Systemgrenze abhängt, was Abbildung 5 illustriert. Wenn ausser dem Strombedarf der Wärmepumpe auch der Strom für Hilfsaggregate wie Zirkulationspumpen etc. eingerechnet wird, reduziert sich in diesem Fall die JAZ um 8.5% auf 3.3. und mit dem Einbezug des Gasverbrauchs um weitere 8.5% auf 2.8.



Unité: kWh/m².an, Période: 06/2015 – 05/2016; 3054 degrés jours 21/15°C

Abbildung 5: Sankey-Diagramm der Energieströme im System Genf «La Cigale». Quelle: <http://renov-laci-gale.ch/de/> mit eigenen Ergänzungen (Systemgrenzen und Berechnung JAZ, mit $COP_{Gas} = 1.0$).

Die wesentlichsten Verbesserungsmassnahmen des Systems in La Cigale betreffen wiederum den Umgang mit einem durch das SES bereitzustellenden Wärmebedarf, der über den vorgesehenen Werten liegt, also die Reduktion des Wärmebedarfs durch die Anpassung der Komfortlüftungsparameter, der Korrektur der Heizkurve und durch Sperrzeiten für die BWW-Zirkulation. Kleinere Defekte am SES traten ebenfalls auf, haben aber die Funktion nicht nennenswert beeinträchtigt.

Bei dem SES in Conches «Chemins de Velours» werden ebenfalls Messungen über zwei Jahre erhoben, wobei bislang erst ein Jahr komplett ausgewertet wurde. Der tatsächlich gemessene Wärmeverbrauch bei dieser Anlage ist wesentlich höher als geplant (Heizwärme: Faktor 2). Die Systemfunktion des SES wurde dadurch nicht beeinträchtigt, weil der Gaskessel den Mehrverbrauch abdeckt. Die geplante JAZ von 3.6 konnte bislang nicht erreicht werden, die Auswertung der JAZ nach den Verbesserungsmassnahmen mit den Messdaten des gesamten zweiten Messjahres ist noch ausstehend. Abbildung 6 zeigt einen Vergleich der angenommenen Wärmebereitstellung des Systems mit den Messdaten der ersten Periode 2016/2017.

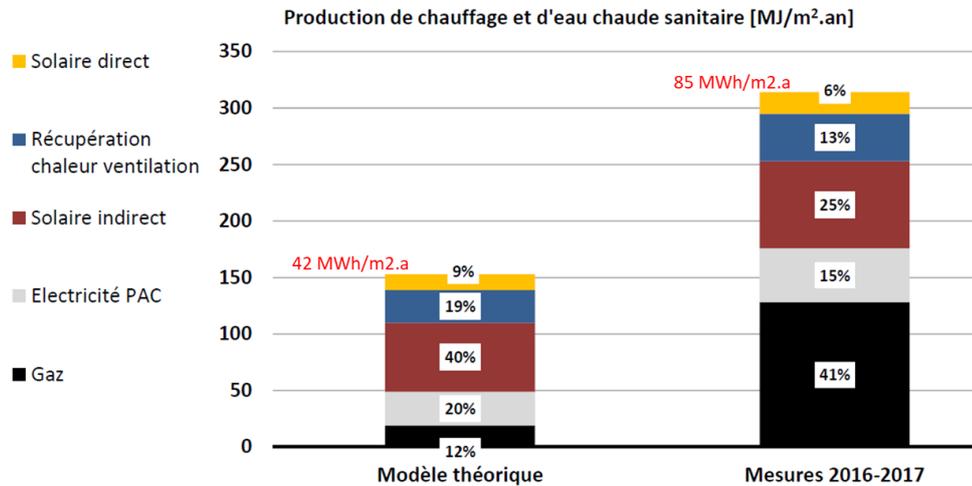


Abbildung 6: Jährliche Wärmebereitstellung des SES Conches «Chemins de Velours» gemäss Annahme (links) und Messdaten der ersten Periode 2016/17 nach Inbetriebnahme. Quelle: Präsentation von B. Thissen und E. Martin bei der 24. Wärmepumpentagung, Burgdorf 2018.

Die detaillierten Betriebserfahrungen sind in [6] und [7] beschrieben. Die zu verbessernden Auffälligkeiten des Betriebs im ersten Jahr haben wiederum kaum mit dem SES-Konzept grundsätzlich als vielmehr mit planungs- und installationstechnischen Aspekten zu tun, die bei Wärmeversorgungssystemen generell zu beachten sind (hydraulische Abgleiche, Sicherstellung der Schichtung von sensiblen Speichern etc.). Insbesondere die Wärmerückgewinnung der Abluft (simple flux) ist bisher weit hinter den Erwartungen zurückgeblieben, u.a. wegen von der Planung abweichender Luftvolumenströme und sehr schnell verstopfter Filter.

Systemübergreifend sind für die Wärme(und -kälte)versorgung von MFH (ggf. mit zusätzlichen Gewerbeflächen) für SES (wie gleichsam aber auch für Referenzsysteme z.B. mit Erdwärmesonden) der Umgang mit dem performance gap, eine gute Einstellung der Heizkurve und der Parametrisierung der Wärmepumpe sowie eine möglichst einfach geplante und sorgfältig umgesetzte Hydraulik mit geringem Stromverbrauch der Hilfsaggregate zu beachten.

Kosten

Auswertbare Informationen zu den Systemkosten liegen derzeit lediglich von den SES des Anbieters Energie Solaire SA in Genf «La Cigale» und Conches «Chemins de Velours» vor, vgl. Abbildung 7. Dazu mussten jedoch die Informationen zu den Komponenten- und Installationskosten der beiden Systeme zunächst in etwa vergleichbare Kategorien zusammengefasst werden, wodurch Ungenauigkeiten entstehen. Beide Systeme haben ein ähnliches Verhältnis von Eisspeichervolumen zu Gesamtwärmebedarf, wobei (mit Schätzwerten für die Aufteilung von Kollektorfeld, Eisspeicher und Wärmepumpe im Fall von Conches) die spezifischen Kosten für Kollektoren und Eisspeicher bei der wesentlich kleineren Installation in Conches etwa doppelt so hoch sind wie in Genf «La Cigale». Dennoch belaufen sich die Kosten des fertig installierten SES in «La Cigale» noch auf etwa 3.29 SFr. pro kWh jährlichem Wärmebedarf (bezogen auf den dem Planungswert), was bei der Umsetzung in Conches auf 2.26 SFr. pro kWh (ohne die – nicht bezifferten – Kosten für die Wärmerückgewinnung aus der Abluft) bzw. geschätzte 2.65 SFr. pro kWh (mit einer Verdoppelung der Schätzkosten für das Kollektorfeld zur Kompensation des Wärmeeintrags der WRG in den Eisspeicher) gesunken ist.

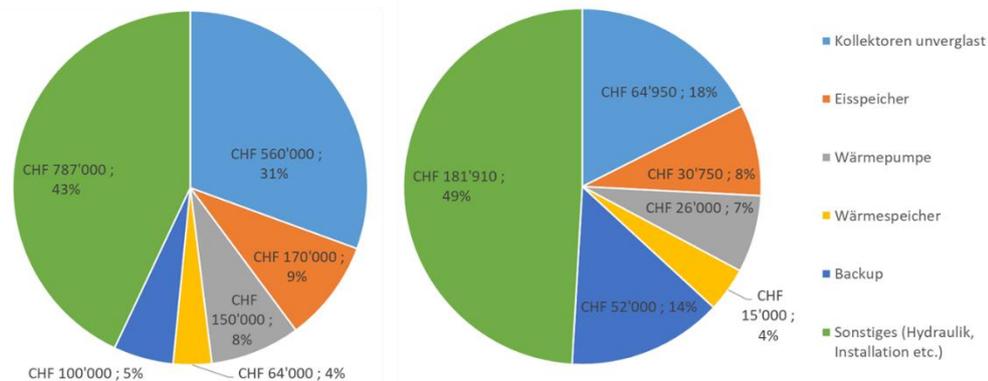


Abbildung 7: Aufteilung der Systemkosten (Komponenten und Installation) der SES in Genf «La Cigale» (links) und Conches «Chemins de Velours» (rechts).

Ein Kostenvergleich mit einem Referenzsystem für das SES Conches wird in [6] präsentiert. Um eine etwa vergleichbare JAZ zu erreichen, wird dort mit einem System bestehend aus Wärmepumpe und Erdsonde sowie einer solarthermischen Anlage und Komfortlüftung verglichen. Die vorläufigen Ergebnisse deuten darauf hin, dass SES zu vergleichbaren Gesamtkosten (Installations- und Betriebskosten) umgesetzt werden können wie heute verbreitete Systeme mit entsprechender JAZ. Eine genauere Darstellung wird der Abschlussbericht des P&D-Projektes Conches Anfang 2019 liefern.

In dieser Studie musste festgestellt werden, dass die verfügbaren Informationen bislang insgesamt nicht ausreichen, um einen belastbaren Vergleich der Systeme und -konzepte untereinander und im Verhältnis zu einem zu definierenden Referenzsystem (z.B. einer Wärmepumpe mit Erdsonden) zu erzielen. Grundsätzlich ist dabei auch zu beachten, dass der Vergleich von Systemen, die allein zur Wärmeversorgung dienen bzw. zusätzlich zur Wärmeversorgung auch die sommerliche Kühlung abdecken, den direkten Kostenvergleich erschwert, was bei künftigen Untersuchungen zu berücksichtigen wäre.

Entscheidungspfad

Für die Verbreitung neuartiger Systeme ist neben Verlässlichkeit und Wirtschaftlichkeit auch die Kenntnis wichtig, wann warum bestimmte Systeme in überhaupt in Betracht gezogen werden. Dies wurde intensiver beim Stakeholder-Workshop diskutiert (vgl. Anhang C). Die Ergebnisse werden hier kurz zusammengefasst.

Für die Bewertung eines Variantenvergleichs mit SES sind belastbare und neutrale Informationen zentral. Hier fehlen bislang noch breiter gestreute und abgesicherte Informationen, z.B. mögliche Faustformeln für Kosten/Erträge der SES, die Planern und Bauherren eine frühe grobe Einschätzung ermöglichen.

Da Baubewilligung bei MFH teilweise viel Zeit in Anspruch nehmen, wurde im Workshop der Vorteil von SES verglichen mit Erdsonden betont, dass keine zusätzliche Bohrbewilligung nötig ist, die wiederum zu zeitlichen Verzögerungen führen kann. Auch die bessere Einschätzung des zeitlichen Ablaufs der Bauphase und der mit der Installation des Wärmeversorgungssystems verbundenen und vorab teils nicht genau bezifferten Zusatzkosten (z.B. für die Schlammabfuhr und eine Baustrasse bei Erdsonden-Bohrungen) wurden angeführt.

Innovationspotential

Bislang noch nicht erprobt ist die Kombination von SES mit PVT-Kollektoren. Auch die platzsparende Integration von Eisspeichern in der Gebäudehülle bei grösseren Überbauungen (z.B. in nicht nutzbaren Bereichen von Rampen der Tiefgarage) wird diskutiert. Eine weitere Standardisierung von Systemkonzepten sowie deren Auslegung und die Verbesserung und Validierung verfügbarer Planungstools wurde beim Stakeholder-Workshop hervorgehoben (siehe Anhang C).

Bezüglich des Entscheidungsprozesses könnte hilfreich sein, für SES ein Hilfsmittel wie beispielsweise das Berechnungsprogramm WPesti⁴ zur Abschätzung der JAZ von Wärmepumpen zu entwickeln, was die künftige Bewertung von SES im Rahmen von Vorschriften und Standards im Gebäudereich vereinfachen sollte.

Diskussion

Die bisher realisierten Systeme decken eine grosse Bandbreite an Kombinationen von Komponenten und Verschaltungen und verschiedene Anwendungsfälle und -grössenordnungen ab. Wie bereits in Studien zu SES in EFH gezeigt, konnten mit SES in MFH Jahresarbeitszahlen zwischen 3.5 und 4 erreicht werden. Bisher werden SES meist bei ambitionierten Zielen bezüglich des Anteils erneuerbarer Energien und bei Bauvorhaben eingesetzt, in denen keine Erdsonden-Bohrungen in Betracht kommen und allenfalls auch weitere Einschränkungen z.B. bzgl. Lärm- und Feinstaubemissionen. Die untersuchten SES haben dabei keine grundlegenden Funktionsdefizite gezeigt. Systeme für Minergie, Minergie-P, Minergie-A und Minergie eco wurden umgesetzt.

Allerdings war insbesondere bei den detaillierter dokumentierten Projekten ein oft erheblicher performance gap festzustellen, der einerseits Anpassungsmassnahmen, die nicht direkt mit dem SES zusammenhängen, erforderlich machte und andererseits die systematische Auswertung der SES bezüglich der einzelnen Energieströme und der Ermittlung der JAZ erschwerte. Aufgrund der sehr inhomogenen Daten- und Informationsgrundlage und der vorab unterschätzten Unterschiedlichkeit der Systeme musste von einem quantitativen Vergleich, z.B. im Rahmen einer Bewertungsmatrix, bislang abgesehen werden. Der Ansatz, der für eine systematische Erfassung von Systeminformationen erstellt und für eine vorläufige Informationssammlung auch verwendet wurde, ist jedoch in Anhang B beschrieben, um für ähnliche Aufgaben eine Grundlage oder Orientierung zu bieten, wie Teilinformationen für einen Systemvergleich aufgeteilt bzw. wieder zusammengefasst werden können.

Aus den Untersuchungen ergeben sich einige generelle Empfehlungen für zukünftige SES-Projekte:

- Verwendung eines einheitlichen Messkonzeptes (eine entsprechende Beschreibung dafür müsste allenfalls ausgearbeitet werden)
- Einheitliche Definition der relevanten Energieströme, Messpunkte und der Darstellung (Sankey-Diagramm und/oder Q-T-Diagramm) sowie einer Definition von System-JAZ bei bestimmten Systemgrenzen
- Beschreibung eines heute marktüblichen Referenzsystems für Vergleiche bzw. als Benchmark und vergleichende Messungen auf Systemebene

⁴ Vgl. <https://www.endk.ch/de/fachleute-1/hilfsmittel>



Bezüglich der Ausweitung und Abstimmung des Kenntnisstandes zu SES hat sich der Workshop als gelungenes Mittel erwiesen, die verschiedenen Stakeholder zu informieren und einen Austausch zu ermöglichen sowie weiterführenden Handlungsbedarf zu identifizieren. Als wesentliche Punkte für die weitere Verbreitung und Akzeptanz von SES wurden dabei Systemanbieter mit möglichst umfassenden Angeboten (Komplettsystem) und für die HLK-Planer gut nachvollziehbarer Dimensionierung sowie die Einbindung von SES in gebäudestandardbezogene Planungstools und Zertifizierungen genannt.



Referenzen

- [1] S. Minder, R. Wagner, M. Mühlebach, T. Weisskopf (2014): Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen mit Sonnenkollektoren – Technologiestudie.
- [2] S. Minder, R. Hefti, N. Ettl, T. Weisskopf (2016): Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen mit Sonnenkollektoren - Wirtschaftlichkeit, Umweltbelastung und Marktpositionierung.
- [3] Frank, E., Haller, M., Herkel, S., Ruschenburg, J.: Systematic Classification of Combined Solar Thermal and Heat Pump Systems. Proceedings ISES EuroSun, Graz, 2010. [DOI: 10.13140/2.1.3838.6883]
- [4] Tornare, G. et al.: Rapport technique et de communication du projet d'assainissement Minergie-P des immeubles « La Cigale » (GE) – Chauffage par pompes à chaleur solaires couplées à des stocks à changement de phase. Schlussbericht P&D-Projekt «La Cigale», révisé le 27.02.2017. Link: <https://www.aramis.admin.ch/Default.aspx?DocumentID=35280>
- [5] Huber, R.: P&D-Schlussbericht Planungszentrum Linth AG Uznach, 15.12.2015. Link: <https://www.aramis.admin.ch/Default.aspx?DocumentID=34914>
- [6] Thissen, B. und Martin, E.: Systèmes de pompes à chaleur couplées à des capteurs solaires non-vitrés. Tagungsband 24. Tagung des BFE-Forschungsprogramms «Wärmepumpen und Kälte», 2018.
- [7] Martin, E.: Système de pompe à chaleur sur capteurs solaires non-vitrés. Exploitation optimale de l'énergie solaire et de la récupération de chaleur sur la ventilation via un stock de glace. Rapport annuel du 22 décembre 2017. [erhältlich beim Autor auf Anfrage]

Anhang A: Kurzbeschreibung Systemkonzepte

Genf «LaCigale»

Die Renovierung der zwei Immobilien der Wohnbaugenossenschaft «LaCigale», die 2013/14 realisiert wurde, umfasste eine vollständige Sanierung der Fassaden beider Gebäude der Genossenschaft und den Austausch der gesamten Heizungsanlage. In die Fassadensanierung ist eine Komfortlüftung integriert. Die Motivation der Bauherren war, über die kantonale Energievorgaben hinausgehen, eine Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern bei gleichzeitig tragbaren Kosten für die BewohnerInnen zu erreichen, den Komfort zu steigern und eine kurze Renovierungszeit mit möglichst geringer Belastung der BewohnerInnen zu realisieren. Planungsziele waren Minergie-P und eine Reduktion des Wärmebedarfs um 70% durch die Renovierung.

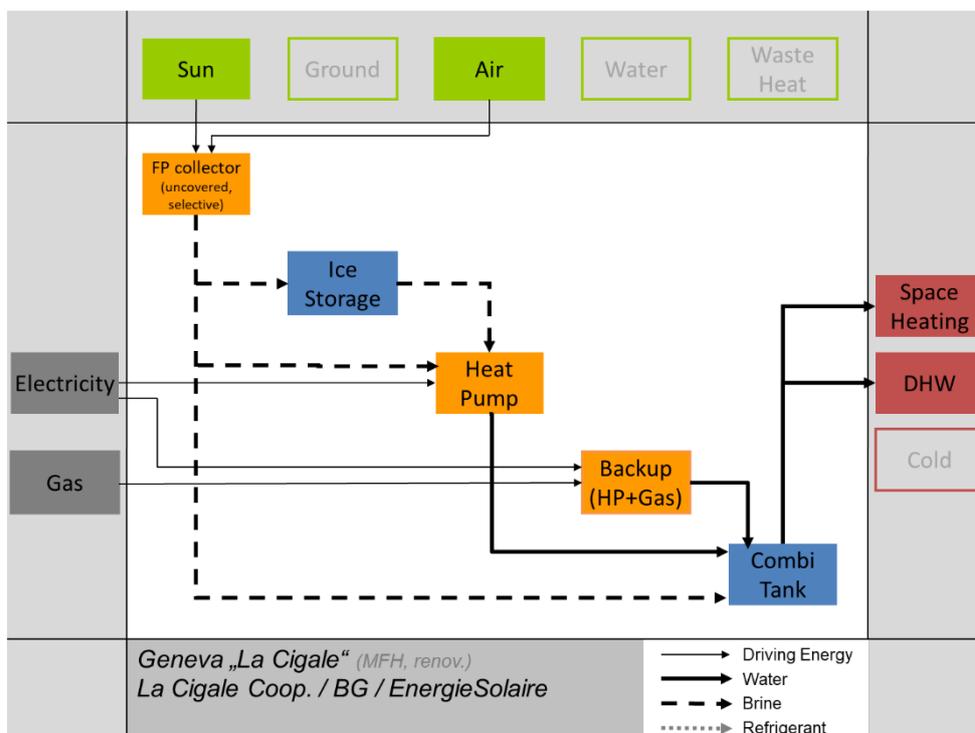


Abbildung 8: SquareViews des SES Genf «La Cigale»

Im Eisspeicher wird ein Wärmeübertrager für Be- und Entladung des Eisspeichers verwendet. Die Solarwärme der unabgedeckten, selektiv beschichteten Edelstahl-Kissenabsorber (1'700 m² insgesamt bzw. 1.2 m² pro MWh Wärmebedarf Raumheizung + BWW) hat drei parallele Wärmesenken (Eisspeicher, Verdampfer Wärmepumpe und direkte Verwendung für Heizung oder Brauchwarmwasser, teilweise via Speicher)⁵. Dafür wurde ein Konzept mit drei Wärmeleitungen auf verschiedenen Temperaturniveaus vorgesehen. Der Eisspeicher hat (wie bei allen betrachteten Systemen) nur die Wärmepumpe als Wärmesenke sowie eine einzige Wärmequelle (Kollektor),

Das Eisspeicher-System ist (vgl. Feld «Backup») noch mit weiteren Wärmepumpen ergänzt (200 bzw. 300 kW in den beiden Gebäuden Vermont und Vidollet), die parallel zur Eisspeicher-Heizung auf die

⁵ Zur besseren Übersichtlichkeit wurde die direkte Verbindung Kollektor – Heizkreis im SquareView weggelassen.
18/33

Heizkreise geschaltet sind. Ausserdem ist das Eisspeicher-System noch mit je einem Spitzenlast-Gasbrenner pro Gebäude ergänzt.

Conches «Chemin de Velours»

Das Konzept der Eisspeicher-Heizung in Conches ist grundsätzlich wie das in LaCigale, allerdings wird zusätzlich Lüftungsabwärme für die Beladung des Eisspeichers genutzt und die parallel ergänzten Wärmepumpen entfallen. Es wurde geplant für einen Minergie-Neubau mit einer EBF von 2'975 m² und 30 Wohnungen, der 2016 gebaut wurde. Die Motivation der Bauherren war, einen niedrigen ökologischen Impact bei gleichzeitig niedrigen Kosten durch eine System-JAZ ähnlich einem Erdsonden-System zu erreichen.

Randbedingungen bei der Auswahl waren: Keine Erdsonden zulässig, keine LW-WP erwünscht (Lärm), keine Biomassefeuerung erwünscht (Feinstaub).

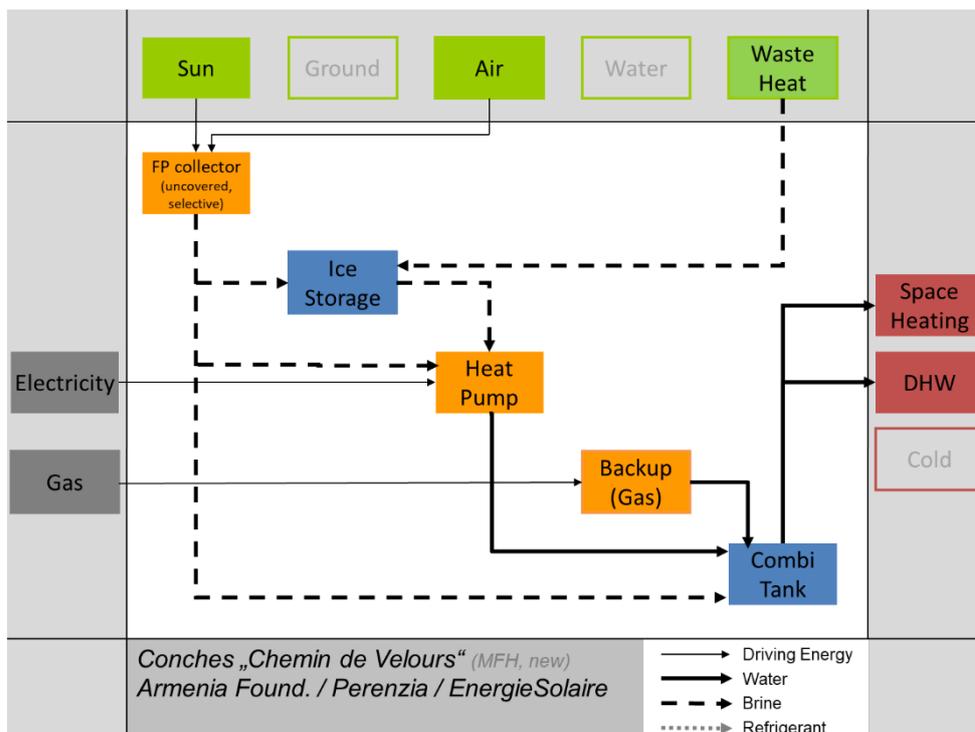


Abbildung 9: SquareViews des SES Conches «Chemin de Velours»

Für die Wärmerückgewinnung wurde aus wirtschaftlichen Gründen ein Abluftsystem («simple flux») vorgesehen. Gemäss vorgängigen Abschätzungen sollte das Abluftsystem etwa 55% der Wärmebereitstellung für die Wärmepumpe (entweder direkt zum Verdampfer der Wärmepumpe oder für die Beladung des Eisspeichers) ausmachen, während die anderen 45% vom Solarkreis kommen. Entsprechend ist das Verhältnis Kollektorfläche zum (geplanten) Gesamt-Wärmebedarf deutlich kleiner als im System «La Cigale» (Conches: ca. 0.5 m²/MWh/a, La Cigale ca. 1.2 m²/MWh/a), ebenso wie das Verhältnis Kollektorfläche zu Eisspeicher-Volumen (Conches 17 m²/m³, La Cigale (Mittelwert der beiden Häuser) 29 m²/m³).

Ein direkter Vergleich ist bislang aus zwei Gründen schwierig:



1. Unterschiede bei den Randbedingungen für Auslegung und Betrieb, z.B.
 - Renovierung La Cigale mit 45°C Vorlauftemperatur Heizung versus Neubau Conches mit 35°C Vorlauftemperatur
 - Technologie Eisspeicher: Zukauf von einer externen Firma bei La Cigale versus eigenes Produkt Energie Solaire in Conches
 - Grösse (Conches versus La Cigale : ca. 16 % der EBF, ca. 14% des Gesamtwärmebedarfs, 5% der Kollektorfläche, 8% des Eisspeichervolumens)
 - La Cigale mit Komfortlüftung (also reduziertem Wärmebedarf seitens des Heizsystems) und Conches mit Abluft-WRG
2. Unterschiede beim Stand der Auswertung: Für La Cigale liegt eine umfangreiche Abschlussdokumentation vor, im Projekt Conches laufen noch die Auswertungen des zweiten Messjahres, die nach verschiedenen Verbesserungsmassnahmen eine Einschätzung zur Leistungsfähigkeit des Systems erst ermöglichen

Rapperswil «Lattenhofweg»

Die Überbauung «Lattenhofweg» in Rapperswil ist ein Neubau (2017) mit einer EBF von 2'050 m² (7 Wohnungen mit 820 m², Rest Gewerbefläche), in der der Bauherr (EW Jona-Rapperswil) eine monovalente solarthermische Eisspeicher-Heizung mit enteisbaren Wärmetauschern demonstriert.

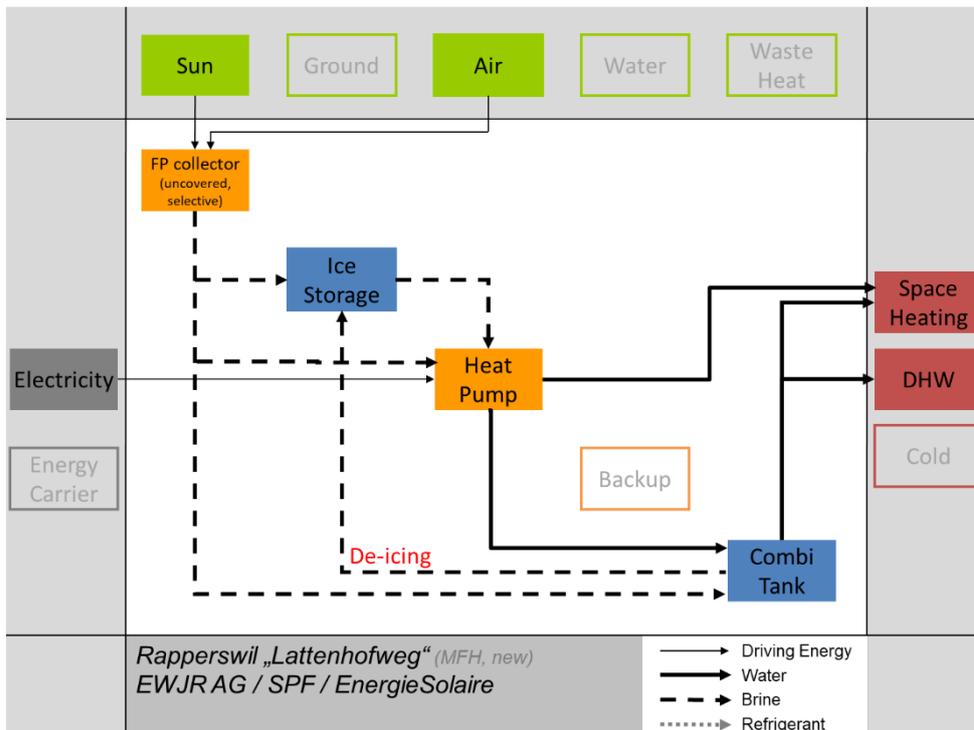


Abbildung 10: SquareViews des SES Rapperswil «Lattenhofweg».

Das Systemkonzept stammt aus einer Kooperation mit dem Institut für Solartechnik der Hochschule für Technik Rapperswil. Nach einem vorgängigen Versuchsprojekt (Kindergarten Säntisstrasse) wird

im MFH Lattenhofweg das Hydraulikkonzept und die Anlagensteuerung sowie ein überarbeitetes Wärmetauscher-Design überprüft. Das Planungsziel war es, den Wärmebedarf (ca. 90 MWh/a) mit einer JAZ von 4.2 bereitzustellen.

Das System besteht aus 210 m³ Eisspeicher mit 11.4 MWh nutzbarer Latentwärme und 120 m² ungedeckter Kollektoren, die auf dem Dach installiert sind (identische Kollektoren wie in La Cigale und Conches). Von der Grösse her ist das System am ehesten vergleichbar mit Conches. Allerdings wurde in diesem monovalenten Systemkonzept kein Spitzenlast-Backup vorgesehen, wodurch insbesondere die Dimensionierung des Eisspeichers völlig unterschiedlich ausfällt. Die einzigen Energiequellen des Systems sind die Solarwärme und Strom für die Wärmepumpe. Da (im direkten Vergleich mit Conches) keine WRG eingesetzt wird, ist das Kollektorfeld entsprechend grösser dimensioniert.

Schocherswil

In Schocherswil wurde 2014 ein Neubauprojekt bestehend aus 3 Häusern mit insgesamt 15 Wohnungen (EBF 1'680 m²) umgesetzt. Motivation des Bauherrn (Curiger Immobilien AG) war, nachhaltiges und effizientes Wohnen zu realisieren, wozu auch ein innovatives Energieversorgungssystem eingesetzt werden sollte. Erdsonden waren am Standort nicht zulässig und Luft/Wasser-Wärmepumpen aufgrund der Lärmemissionen nicht erwünscht. Die Gebäude erfüllen Minergie-A und haben eine Raumkühlung über den Eisspeicher. Planungsziel war für die Wärmeversorgung eine JAZ ähnlich eines Erdsonden-Systems. Das monovalent ausgelegte System der Firma Viessmann umfasst einen im Erdreich eingebauten Eisspeicher mit einem Volumen von 290 m³ und 116 m² ungedeckter Solarluftkollektoren auf dem Dach.

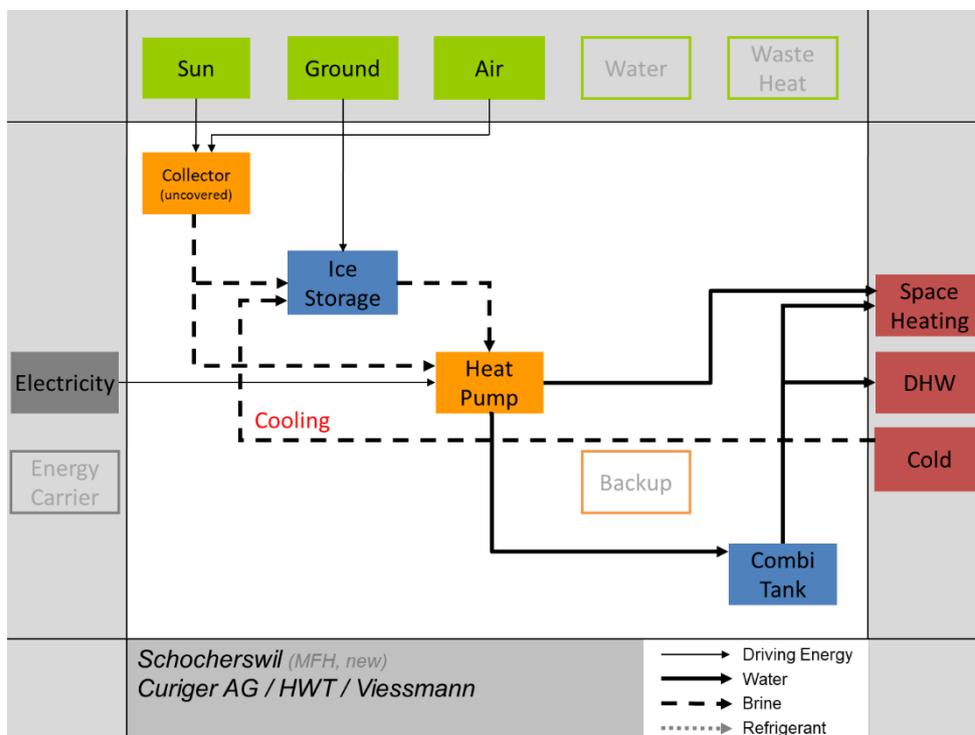


Abbildung 11: SquareViews des SES Schocherswil.



Amriswil «Neustudenpark»

Das Neubauprojekt wurde 2015 realisiert und besteht aus 5 Häusern mit insgesamt 67 Wohnungen (EBF 6'700 m²). Wiederum war der Bauherr die Curiger Immobilien AG, und obwohl Erdsonden an diesem Standort zulässig waren, wurde in Amriswil das selbe Konzept (auch Minergie-A) umgesetzt wie in Schocherswil, allerdings grösser: Der im Erdreich eingebaute Eisspeicher hat ein Volumen von 1'066 m³ und 396 m² unbedeckte Solar-Luftkollektoren, die (weil auf den Dächern 150 kW_p installiert wurden) zwischen den Gebäuden über dem Eisspeicher senkrecht montiert wurden.

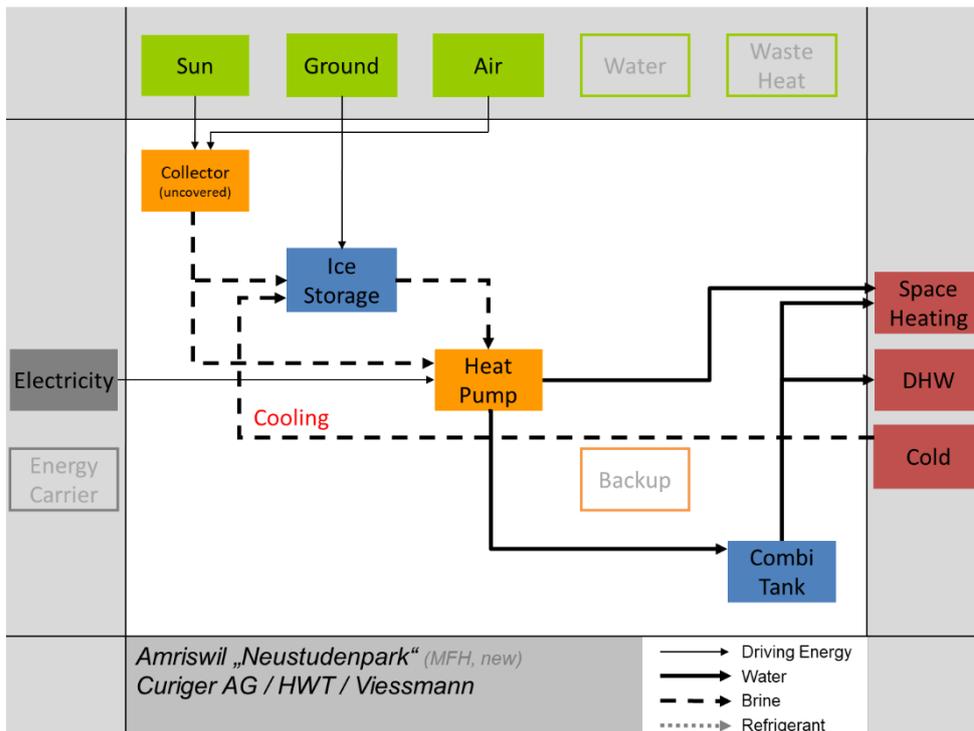


Abbildung 12: SquareViews des SES Amriswil «Neustudenpark».

Bern «Weltpoststrasse»

Das Neubauprojekt umfasst 3 Häuser mit 175 Wohnungen und einer EBF von 14'500 m². Es befindet sich aktuell in der Umsetzung. Die Motivation beruht auf Vorgaben der Stadt Bern, deren Überbauungsordnung bei der Wärmeversorgung des Bauvorhabens Weltpoststrasse >70% erneuerbare Energien (im Verlauf der Projekteingaben wurde dies sogar auf 100% erhöht) vorsah. Geplant wurde nach Minergie-eco und dem SIA 2040 Energieeffizienzpfad. Für die 100% regenerative Wärmeversorgung wurde das SES von Viessmann ergänzt durch eine Abwasser-Wärmerückgewinnung, die als Wärmequelle für eine separate BWW-Wärmepumpe dient und hilft, den performance gap auszugleichen.

Randbedingungen für Planung und Auswahl des SES waren wiederum, dass Grundwasser nicht genutzt werden konnte und die Bohrung von Erdsonden am Standort nicht zulässig war. Ausserdem war der Raumbedarf für Luftregister nicht vorhanden, ein Nah- und Fernwärmeverbund auf absehbare Zeit nicht vorgesehen und eine Holzfeuerung wegen der bereits hohen Luftbelastung nicht zulässig.

Das System in Bern (Weltpoststrasse) wird verglichen mit Amriswil eine mehr als doppelt so hohe EBF versorgen und hat einen etwa 30% grösseres Eisspeichervolumen sowie eine etwa 70% grössere Solar-Luftkollektorfläche. Die genaue Dimensionierung und Planung des SES war zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch vertraulich.

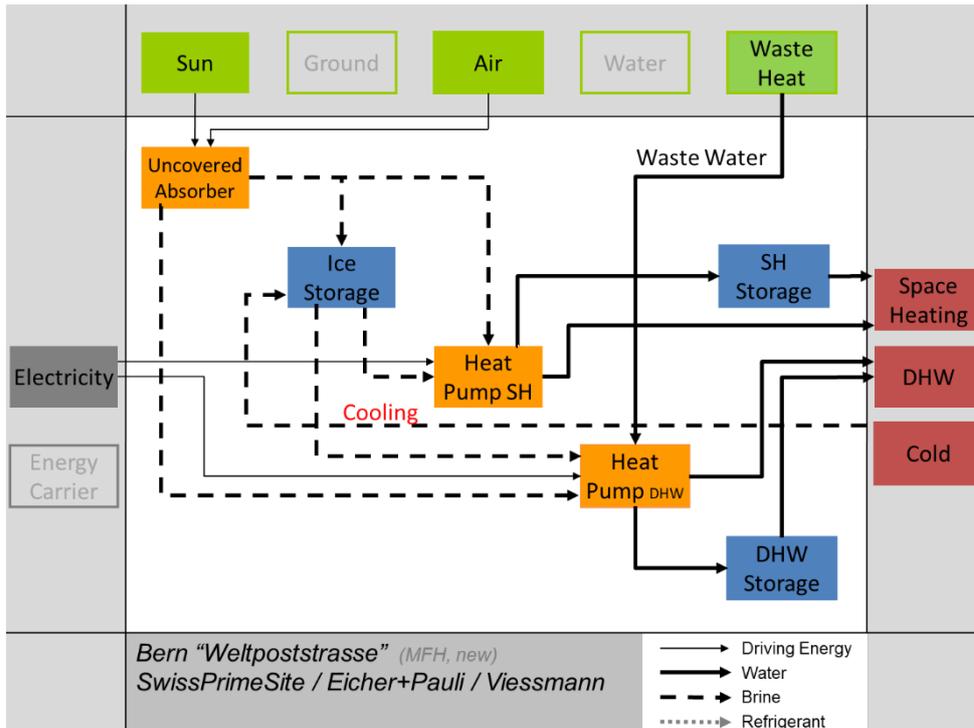


Abbildung 13: SquareViews des SES Bern «Weltpoststrasse».

Uznach «Planungszentrum Linth AG»

Der Neubau (2012) ist für Gewerbefläche (EBF 2'280 m²). Die Planungszentrum Linth AG beschreibt ihre Motivation als Bauherrin mit einem hohen Stellenwert der Umweltverträglichkeit, so dass neben einer guten Gebäudehülle und recyclebaren Baustoffen auch ein innovatives Heizsystem realisiert werden sollte. Das Viessmann-System mit Eisspeicher wurde für das Heizen und Kühlen über TABS und Bodenheizung geplant. Das monovalente Solar-Eisspeicher-System hat vier Eisspeicher mit je 50 m³ unter der Bodenplatte des EG und 2 mal 40 m² unbedeckte Kollektoren auf dem Dach.

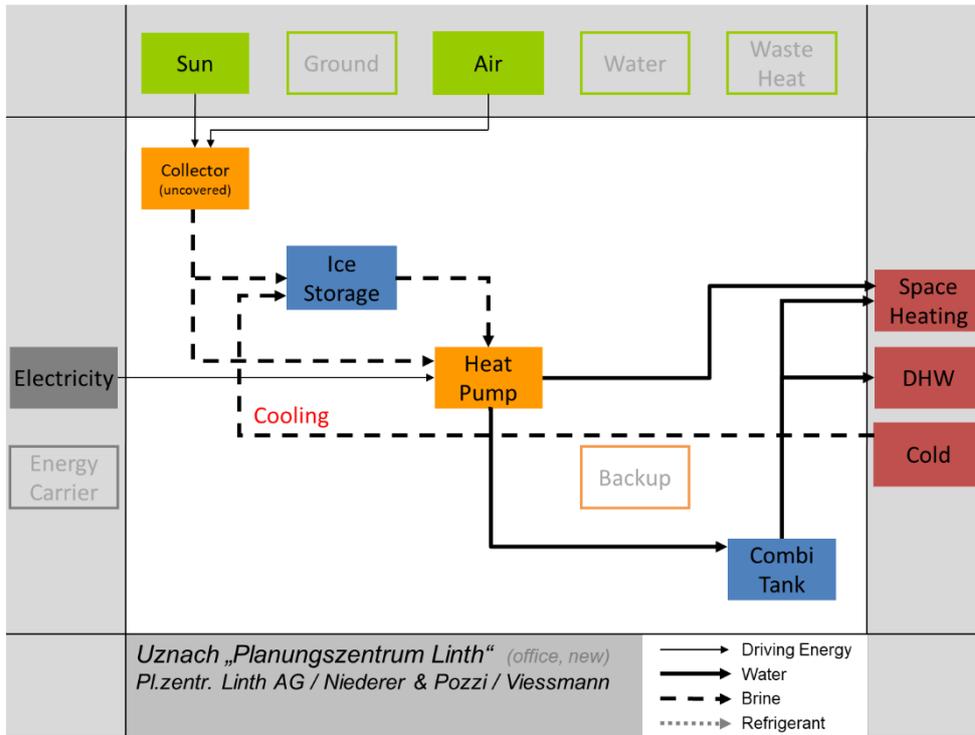


Abbildung 14: SquareViews des SES Uznach «Planungszentrum Linth».



Anhang B: Systemdaten

Zu den einzelnen Systemen wurden Informationen gesammelt, die in fünf übergeordnete Bereiche eingeteilt sind: Angaben zu den Systemen allgemein (A), den Systemkomponenten (B), den einzelnen Energieströmen (C), abgeleiteten Kennwerten (D) und Kosten (E). Die Informationen sind zum Teil vertraulich und wurden in einer Excel-Matrix zu Handen des BFE zusammengefasst.

Tabelle 3 beschreibt allgemeinere Angaben zum Gesamtsystem. Da zu allen betrachteten Systemen speziell im Abschnitt A jeweils unterschiedliche Informationen vorlagen bzw. in Erfahrung gebracht werden können, sind nicht alle Datenpunkte zu jedem System vorhanden, sondern jedes System wird durch ein spezifisches Set von Daten beschrieben. Dies gilt ebenso für die weiteren Abschnitte.

Tabelle 3: Datenpunkte «A: System»

Allgemeines		Neubau/Renov. und Baujahr Art der Nutzung Anzahl Wohnungen Anzahl Bewohner EBF in m2 Wohnfläche in m2 Nutzfläche in m2 Gebäudestandard System mono/bivalent
Energie	Wärmebedarf (Planung)	Total in kWh/a Heizung in kWh/a BWW in kWh/a Heizung Vorlauf in °C BWW Temperatur in °C Total in kWh/m2.a Heizung kWh/m2.a BWW kWh/m2.a COP System (Planung)
	Wärmeproduktion	Total in kWh/a Heizung in kWh/a BWW in kWh/a Total in kWh/m2.a % Wärmepumpen % Solarthermie direkt % Sptzenlast/Backup % Solarthermie direkt/indirekt Energieträger substituiert Reduktion Prod. in %
	Strombedarf	Total in kWh/a
Motivation		[Beschreibung]
Planungsziel		[Beschreibung]
Partner	Besitzer/Bauherr Betreiber Bauunternehmer Architekt Planer HLK Planer Eisspeichersystem Lieferant Eisspeichersystem Installateur Energieversorger	



In **Tabelle 4** werden die einzelnen Komponenten der Systeme beschrieben. Bei jeder werden die Wärmequellen und -senken erfasst, so dass aus einer tabellarischen Übersicht erkennbar wird, welche Systeme sich konzeptionell mehr oder weniger ähneln. Zu allen einzelnen Komponenten wurde versucht, möglichst viele spezifische Parameter zu ermitteln, was bei einigen Systemen aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit von Informationen jedoch kaum oder gar nicht möglich war.

Tabelle 4: Datenpunkte «B: Komponenten»

Eisspeicher	Wärmequellen	1 Solarthermie >60°C 2 Solarthermie <60°C + Umgebungswärme 3 WRG Abluft 4 WRG Abwasser 5 Raumkühlung
	Wärmesenken	1 Wärmepumpe(n) 2
	Parameter	Hersteller Typ Bauform (Grundfläche) Einbauort Material Aussenwand Isolation Volumen in m3 Wasservolumen in m3 Höhe in m Grundfläche in m2 Q_latent in kWh Max Beladetemperatur in °C Q_sensibel in kWh HX Beladung HX Entladung Spezifika
Solarthermie	Wärmequellen	1 Solarstrahlung 2 Konvektion passiv 3 Konvektion aktiv
	Wärmesenken	1 Eisspeicher 2 Pufferspeicher BWW 3 Pufferspeicher Heiz 4 Kombispeicher 5 BWW direkt 6 Heizkreis direkt 7 Wärmepumpe(n) direkt
	Parameter	Typ Hersteller Fläche in m2 Regeltemperatur in °C Ausrichtung Neigung in ° Besonderheiten
Fotovoltaik	Stromsenken	Eigenverbrauch in kWh/a Netzeinspeisung in kWh/a
	Parameter	Typ Hersteller kW_peak Fläche in m2
Wärmepumpe(n)	Wärmequellen	1 Eisspeicher



(falls mehrere, einzeln gelistet)		2 Solar direkt 3 WRG Raumluft 4 WRG Abwasser
	Wärmesenken	1 Pufferspeicher BWW 2 Pufferspeicher Heiz 3 Kombispeicher 4 BWW direkt 5 Heizkreis direkt
	Parameter	Typ Hersteller Nennleistung in kW Kältemittel T_max in °C T_min_source in °C
Wärmespeicher	Pufferspeicher Heiz	Volumen in m3 T_soll (bzw. T_max) in °C
	Pufferspeicher BWW	Volumen in m3 T_soll (bzw. T_max) in °C
	Kombispeicher	Volumen in m3 T_soll (bzw. T_max) Heiz in °C T_soll (bzw. T_max) BWW in °C
Backup Energie	Gas	Nennleistung in kW
	Elektrisch (Heizstab)	Nennleistung in kW
	Öl	Nennleistung in kW
WRG	Abluft	Art Wärmesenke
	Abwasser	Art Wärmesenke

Zum Teil können die Angaben der technischen Parameter ebenfalls nicht direkt miteinander verglichen werden wie beispielsweise die Kollektorfläche (siehe Erläuterung im Hauptteil unter «Systemkonzepte»). Dies ist der Grund, warum versucht wurde, im folgenden Abschnitt «C: Wärmeströme» dies detaillierter zu erheben (vgl. **Tabelle 5**).

Technische Einzelheiten zur Wärmerückgewinnung (WRG) konnten im Rahmen dieses Projektes noch nicht erhoben werden.

Tabelle 5: Datenpunkte «C: Energieströme»

Planung	Solarstrahlung Koll. Koll. --> WP RH Koll. --> WP BWW Koll. --> WP total Koll.--> RH Koll.--> BWW Koll.--> Speicher Koll. Direkt total Koll.--> Eisspeicher Koll. GESAMT Koll. <-- Kühlung	Energie in kWh/a [ggf. zusätzlich Temperatur im Kommentartext] bzw. keine Einheit (JAZ)
----------------	---	---



	WRG Abluft --> Eissp. WRG Abwasser --> Eissp. Speicher --> Eissp. Kühlung --> Eissp. Umgebung --> Eissp. ab Eissp. gesamt Eissp. --> WP WRG Abluft --> WP WRG Abwasser --> WP WP --> BWW WP --> Heizung WP --> Speicher ab WP gesamt Strom WP JAZ WP Strom Hilfsaggregate Strom WP+Hilfsaggr. JAZ System ohne Backup Gas Öl JAZ System mit Backup	
Messung	Zeitraum Messung, sonst wie Abschnitt «Planung»	Wie Abschnitt «Planung»

Auch bei den in **Tabelle 5** beschriebenen Energieströmen der Systeme ist die Datengrundlage sehr uneinheitlich. Bei manchen Systemen sind einzelne Planungswerte verfügbar, bei manchen Systemen umfangreiche Angaben zu Planung und/oder Messung. Bei Letzteren sind die Energieströme (und zum Teil auch die Bestimmung von JAZ) meist unterschiedlich und wiederum nicht vergleichbar.

Tabelle 6 beschreibt abgeleitete Kennwerte, die aus den übrigen Angaben (Fläche Kollektoren, Volumen Eisspeicher, Gesamtwärmebedarf, Leistung Wärmepumpe(n)) berechnet werden. Im Rahmen der Verfügbarkeit und Genauigkeit der ermittelten Kennwerte wurde in dieser Studie von einer Auswertung und vergleichenden Interpretation zunächst abgesehen. Zur Interpretation der Kollektorfläche sei nochmals auf den obenstehenden Kommentar verwiesen. Dies gilt ähnlich für das Volumen des Eisspeichers: Hier ist in der Regel das innere geometrische Volumen des Speichers zugrunde gelegt (weil – wenn überhaupt – als Information verfügbar) und nicht das (maximale) Volumen Eis im Speicher (was wiederum einerseits ein Planungswert ist und andererseits von der Bauart und dem Regelungsregime des Eisspeichers abhängt).

Tabelle 6: Datenpunkte «D: Abgeleitete Kennwerte»

	System	m2 Koll / EBF m2 Koll / m3 Eissp m2 Koll / MWh Gesamtwärmebedarf m3 Eissp / MWh Gesamtwärmebedarf m2 Koll / kW Wärmepumpe m3 Eissp / kW Wärmepumpe
	Solar	Ertrag in kWh/m2.a



Tabelle 7 beschreibt schliesslich die ermittelten Kosten und Teilkosten der Systeme. Die Differenzierung hat sich aus den zum Teil sehr detailliert dargestellten Kosten (z.B. im Abschlussbericht zum P&D-Projekt «LaCigale») ergeben. Von der Mehrheit der Systeme sind kaum bzw. nur wenig differenzierte Angaben zu den Systemkosten verfügbar und oft auch als vertraulich klassifiziert.

Tabelle 7: Datenpunkte «E: Kosten»

Gesamtkosten		In CHF
Eisspeicher-Syst.	Gesamt	Gesamt in CHF Gesamt spezifisch in CHF/kWh.a Wärmebedarf
	Solarwärme	Kollektoren in CHF Kollektoren unverglast in CHF PVT-Kollektoren in CHF Solarkreis ohne Koll. in CHF Kollektoren spezifisch in CHF/m2 Solarkreis KOMPLETT spez. In CHF/m2
	Wärmespeicher	In CHF
	Eisspeicher	In CHF
	Wärmepumpe(n)	In CHF
	WRG	Abluft, in CHF
		Abwasser, in CHF
	Backup	In CHF
	Sonstiges	Regelung, Elektroinstall. Isolation Montage Hydraulik Expansion, Sicherheit Anschlusskosten Gas/Elektro Vorstudie Planung
	Solarstrom	

Anhang C: Ergebnisse des Workshops

Zum Workshop wurden VertreterInnen von fünf Stakeholder-Gruppen eingeladen, die bereits Erfahrungen mit der Umsetzung von solaren Eisspeicher-Systemen (SES) gemacht haben. Die Stakeholder-Gruppen umfassten Bauherren, Planer, Architekten, Systemanbieter und VertreterInnen aus Forschung und Förderinstitutionen.

Es wurden zwei Ziele verfolgt: Einerseits das tiefere Verständnis, wie Entscheidungsprozesse für solare Eisspeicher-Systeme stattfinden, und andererseits die Diskussion von Stand der Technik und den Umsetzungschancen (wirtschaftlich, regulatorisch) solcher Systeme. Letzteres dient gleichsam als wesentliche Information für das im Sommer 2018 gestartete Forschungsprojekt «BigIce», in dem anhand von Systemsimulationen eine quantitative Bewertung von Solar-Eis-Systemen in Mehrfamilienhäusern und Gebäuden aus dem Dienstleistungssektor vorgenommen werden soll.

Der Hauptteil der Diskussion orientierte sich an fünf Fragen an die Stakeholder:



1. Wie/wann/warum kommt es zu der Entscheidung, ein solares Eisspeichersystem einzusetzen?
2. Wie schätzen sie den «Markt» ein: Konzept für Nische oder skalierbar?
3. (Wann) Würden Sie monovalente oder multivalente Konzepte vorziehen?
4. Sind solare Eisspeicher-Systeme heute kostenkompetitiv?
5. Sind solare Eisspeicher-Systeme verlässlich? Wer trägt welche Risiken?

Im Folgenden sind die Ergebnisse und Beiträge zusammengefasst.

1. Wie/wann/warum kommt es zu der Entscheidung, ein solares Eisspeichersystem (SES) einzusetzen?

- Systemanbieter: SES kommen oft sehr früh zu Beginn der Auswahl (insbesondere bei grundlegenden Überlegungen zu Umwelteinfluss und versch. Rahmenbedingungen) als mögliche Variante in die Diskussion. Die konsequente Ausrichtung Nachhaltigkeit / Umwelt bei Bauherren ist dabei zentral sowie die Offenheit für oder sogar der Wunsch nach einem innovativen Heizungssystem.
- Die Planer betonen ebenfalls, dass ein (grober) Variantenvergleich oft früh erfolgt, dabei spielen Fragen nach Platzbedarf und Vorgaben eine Rolle (und z.B. 100% EE). Die Möglichkeit, eine Variante Solar-Eisspeicher rechnen zu können, ist hilfreich für ein bestimmtes setting von Rahmenbedingungen, in denen es kaum Alternativen gibt («sehr ambitionierte Vorhaben»). Entscheidungsgrundlage: Die Motivation basiert in den meisten Fällen auf dem Wunsch der Emissionsfreiheit. Vielfach bleibt das SES dann übrig, wenn alle anderen Systeme nicht möglich oder nicht praktikabel sind. Der Entscheidungspfad hängt allerdings (sehr?) von der Grösse des Objektes ab (→ Einbindung von Architekten, Planern und Fachplanern (ja/nein) und Art der Einbindung) sowie von der «Philosophie» des Bauherren (einfachster Fall: GU beauftragen, sonst verschiedene Level möglich, sich an den Einzelentscheidungen zu beteiligen).
- Vor allem die Bauherren betonen, dass schon früh die Darstellung von Planungszielen, technischen Möglichkeiten (Entscheid monovalent/bivalent), Platzerfordernissen und Kosten abschätzbar und nachvollziehbar sein sollten (→ Planer / Variantenvergleich, aber auch schon Einschätzung/Zusammenarbeit mit Fachplanern). Dies wird schon bei einer ersten Einschätzung wichtig, welche technischen Möglichkeiten es für die Erfüllung der Vorgaben des Lastenheftes gibt.
- Auch die Gruppe Architekten betont eine frühe (vorläufige) klare Darstellung von Besonderheiten / Randbedingungen bei der Umsetzung von SES (Planung/Abschätzung Ort und Platzbedarf Speicher, Dachflächen, Nutzungskonkurrenz).
- Hierfür sind belastbare und neutrale Informationen zentral (siehe Erwartungen an das BFE bei Frage 5). Die Planer erwarten dazu von den Systemanbietern Faustformeln für Kosten/Erträge ihrer Systeme (ggf. mit Unterstützung BFE).
- Bewilligungen: Zum Teil werden 1 bis 2 Jahre bis zur Baubewilligung benötigt --> wenn dann noch einige Monate für die Bohrbewilligung benötigt werden, kann dies ein entscheidendes Argument für SES sein (aber: kantonal sehr unterschiedlich!). Dieses Thema ist für Bauherren entscheidend wie auch für Architekten (die offenbar in das Einholen der Bewilligungen mit eingebunden sind). Für Planer/Systemanbieter ist der Punkt «Bewilligungen» eher ein Überzeugungsargument, betrifft sie aber weniger direkt.



- Akzeptanz: Aus Bauherrnsicht sehr relevant, v.a.: Kann ich (im Fall von Eigentumswohnungen) die Wohnungen gut verkaufen (d.h. wird der Käufer die innovative Heizung besonders positiv bewerten oder eher zögern, weil es eine noch nicht sehr bekannte/verbreitete Technologie ist) → es braucht gute Referenzen und die Sicherheit, dass das System verlässlich und wartungsarm funktioniert. Bei Mietwohnungen: Spezielle Mietergruppe, die zufriedener ist, wenn die CO₂-Emissionen für die Wärmeversorgung tiefer sind als Standard. Für Planer bezieht sich die Akzeptanz auf technische Aspekte, die für die Überzeugung der Auftraggeber entscheidend sind (und die eigene Überzeugung): Technologieauswahl, Verlässlichkeit der Planungsergebnisse.

Fazit: Alle Stakeholder-Gruppen spielen auf unterschiedliche Art eine Rolle und die Einbindung von SES als mögliche Variante erfolgt vorteilhafterweise frühzeitig, d.h. sobald ein Projekt in den Anfängen entwickelt wird.

2. Wie schätzen sie den «Markt» ein: Konzept für Nische oder skalierbar?

Grundsätzlich skalierbar, wenn mehr verlässliche / vergleichbare Referenzen geschaffen werden. Derzeit würde bei gleichen Kosten und ähnlicher JAZ meist eher für Erdsonden entschieden, weil sie bekannter/verbreiteter sind.

Die Diskussion um mono/bivalente Systeme wurde hier nicht geführt.

Neubau und Sanierung: Nische Neubau ist klein (wenn SES übrigbleiben, weil aufgrund der Planungsziele kein anderes System gleich gut infrage kommt, siehe Entscheidungsprozess). Nische Altbau wäre grösser.

Die Akzeptanz bzw. das weitere Entwickeln von Marketing-Argumenten wurde von dem Systemanbieter als nicht sehr relevant eingestuft mit der Begründung, dass die Argumente bekannt seien und es vor allem darum ginge, bekannter zu werden.

Vermarktung von SES: Für die Beteiligten ist wichtig, dass SES als Systemlösung angeboten werden können und nicht als einzelnes Produkt (geht auch in die Richtung Risiko/Garantie). Die Erfahrungen in den Projekten haben ja auch gezeigt, dass vielfach Probleme auftreten die gar nicht mit dem SES zu tun haben, sondern dass viele verschiedene Akteure in einem solchen Bauprojekt involviert sind und nicht alle dasselbe Know-how haben.

3. (Wann) Würden Sie monovalente oder multivalente Konzepte vorziehen?

Einer der Systemanbieter argumentiert, dass sie für den Wärmebedarf entsprechend des angestrebten Standards (z.B. Minergie-P) ein monovalentes SES auslegen, aber eine weitere (parallele) Wärmeerzeugung für den Mehrverbrauch (performance gap) einplanen.

Der grosse Unterschied im benötigten Eisspeichervolumen oder Einschränkungen durch verfügbare Dachflächen wurde hier (überraschenderweise?) nicht genannt/diskutiert. Letztere kann durch die Einbindung von WRG zum Teil kompensiert werden.

4. Sind solare Eisspeicher-Systeme heute kostenkompetitiv?

Hierzu gab es keine eindeutige Antwort, und auch die vorliegende Daten- und Informationsgrundlage im Rahmen der IceCheck-Studie bietet dafür noch keine ausreichende Grundlage. Es scheint, dass (vor allem monovalente?) SES preislich noch über den (wenn realisierbaren) Alternativen (Erdsonde-WP) liegen, obschon eine Abschätzung im P&D-Projekt Conches zeigt, dass man bei gleicher JAZ mit



einem bivalenten System ähnliche (oder sogar tiefere) Kosten mit einem SES erreichen kann. Solche Abschätzungen sind allerdings sehr sensitiv bzgl. der Annahmen.

Die Planer haben «Systemdimensionierung und Kostenoptimierungspotentiale» allerdings als sehr wichtig angegeben und sehen dort auch weitere Verbesserungen.

5. Sind solare Eisspeicher-Systeme verlässlich? Wer trägt welche Risiken?

- Grundsätzlich müssen die Systemanbieter Garantien geben. Eine Zusammenarbeit der Systemanbieter mit Installateuren (so dass sie quasi GU für das SES sind) wäre aus Bauherren- und Planersicht zu begrüßen, um die Schnittstellen zu vereinfachen und auch die Verantwortlichkeit.
- Die Architekten betonen in diesem Zusammenhang die Bedeutung einer guten Zusammenarbeit mit den Fachplanern.
- Die Planer suchen grundsätzlich Möglichkeiten, die mit geringem Risiko verbunden sind.
- Erdsonden geben mehr «Sicherheit», weil auch bei sinkenden Quelltemperaturen dem Erdreich noch immer Wärme entzogen werden kann, während beim SES bei Vollvereisung des Eisspeichers keine (bzw. kaum noch) Leistung entzogen werden kann und eine Notheizung eingesetzt werden muss. Dies ist bei der Planung/Auslegung von SES in besonderer Weise zu berücksichtigen.
- Hierzu bemängeln wiederum die Planer, dass nicht bei allen Systemanbietern die Simulationsergebnisse, welche zu einer bestimmten Auslegung geführt haben, vollständig offengelegt werden.

Ergänzend haben alle Stakeholder-Gruppen betont, dass sie von der Politik angesichts der übergeordneten Ziele (CO₂-Emissionsreduktion, Energiewende) Anreize und Regelungen erwarten, die solche innovativen Systeme besser in die Praxis/den Markt kommen lassen und eine konsequente Umsetzung der politischen Ziele ermöglichen. Beispiel: Im Kanton Genf sind SES schon heute vergleichsweise gut umsetzbar, im Kanton Wallis überhaupt nicht (genaue Gründe wären noch zu prüfen).

Dazu könnte z.B. die Ergänzung von SES bei den Minergie-Formularen beitragen.

Vom BFE wird insbesondere erwartet, dass es gute / validierte / verlässliche Informationen bereitstellt, die allen Stakeholdergruppen helfen bei der Entscheidungsfindung und bei der Beurteilung von Systemkonzepten, und dass es Validierungsprozesse begleitet (was u.a. Ziel der «IceCheck»-Studie war).

Doppelbotschaft öffentlicher Förderung: Hilft zwar, dass man dringend notwendige Referenzanlagen bauen kann, welche die Bekanntheit und Akzeptanz fördern. Auf der anderen Seite suggeriert die öffentliche Unterstützung, dass es sich hier um unausgereifte, unwirtschaftliche Technologien handelt.

Technisch sehen vor allen die Systemhersteller noch kleinere Verbesserungen auf Systemebene, z.B. eine Pilotanlage mit PV/T-Kollektoren.



Abkürzungsverzeichnis

BFE	Bundesamt für Energie
BWW	Brauchwarmwasser (engl. Domestic Hot Water, DHW)
DHW	Domestic Hot Water (Brauchwarmwasser)
EBF	Energiebezugsfläche
EFH	Einfamilienhaus
JAZ	Jahresarbeitszahl
MFH	Mehrfamilienhaus
PV/T	Photovoltaisch-thermische Kollektoren (auch: PVT)
RH	Raumheizung (engl. Space Heating, SH)
SES	Solares Eisspeicher-System
SH	Space Heating (Raumheizung)
WRG	Wärmerückgewinnung