

Systemauslegung und Ökobilanzierung von Solarthermie-Wärmepumpen-Heizungen mit Eisspeichern und Abwasser-Wärmerückgewinnung

Daniel Philippen, Daniel Zenhäusern, Dani Carbonell, Martin Granzotto, Michel Haller, Stefan Brunold

Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik Rapperswil

Oberseestraße 10, CH-8640 Rapperswil

Tel.: +41 55 222 48 30

E-Mail: daniel.philippen@spf.ch

Internet: www.solarenergy.ch

Einleitung

Zur Versorgung von Gebäuden mit Heizwärme und Brauchwarmwasser können Solar Kollektoren mit einer Wärmepumpe und einem Eisspeicher – einem Latentwärmespeicher mit Wasser als Speichermedium – kombiniert werden. In den vergangenen Jahren wurden verschiedene Heizungsanlagen mit Eisspeicher entwickelt, in Pilotanlagen untersucht oder auch auf dem Markt angeboten. Je nach Anlagenauslegung kommen unterschiedlich große Kollektorfelder und Eisspeicher zum Einsatz, was einen Einfluss auf den Stromverbrauch der Heizung und somit auf die System-Jahresarbeitszahl hat. Die erreichten System-Jahresarbeitszahlen können dabei je nach Auslegung der Heizungen stark variieren. In der Literatur werden Werte von 3,5 bis 5,6 angegeben [1], wobei die System-Jahresarbeitszahl stark von den Vorlauftemperaturen der Heizverteilung abhängt. Eine Heizung, die von den Autoren mit dem Ziel eines niedrigen Stromverbrauchs in einem Altbau mit Radiatoren erstellt wurde, erreichte in Feldmessungen eine System-Jahresarbeitszahl von 5,2 [2].

Ein reduzierter Stromverbrauch während der Betriebsphase geht in der Regel einher mit einem größeren Energie- und Materialaufwand für den Bau und die Entsorgung der Heizungsanlage. Es stellt sich somit die Frage, bei welcher Anlagengröße der Aufwand für die Infrastruktur und der Aufwand während der Betriebsphase zusammen minimal werden.

Mit dem Beitrag wird anhand eines spezifischen Heizungskonzepts untersucht, wie die Systemeffizienz von solarthermischen Wärmepumpenheizungen mit Eisspeicher und optional mit Abwasser-Wärmerückgewinnung von den Komponentengrößen abhängt. Als Effizienzziel wird dabei einerseits eine hohe System-Jahresarbeitszahl betrachtet und andererseits die Minimierung der Umweltwirkung über die gesamte Lebensdauer der Heizung. Die Umweltwirkungen werden mit Hilfe von Ökobilanzen berechnet. Die verwendeten Bewertungskriterien sind der nicht-erneuerbare Primärenergieaufwand

(KEA_{nEE}) und das Treibhauspotenzial (GWP). Die Auslegung der verschiedenen Heizungsvarianten wurde für Einfamilienhäuser für ein durchschnittliches Schweizer Klima mit Systemsimulationen in TRNSYS vorgenommen.

Das Heizungskonzept und seine Varianten

Das untersuchte Heizungskonzept kann ein Gebäude mit Heizwärme und Brauchwarmwasser versorgen. Seine Hauptkomponenten sind eine Wärmepumpe, Solarkollektoren und ein Eisspeicher (Abb. 1 & 2). Die Versorgung des Gebäudes erfolgt möglichst direkt mit der Wärme aus den Kollektoren. Ist diese Wärme nicht ausreichend, wird die Wärmepumpe eingesetzt. Hauptsächlich Wärmequelle für die Wärmepumpe ist der Eisspeicher. Zusätzlich kann bei genügend hohen Austrittstemperaturen aus den Kollektoren Solarwärme direkt im Verdampfer der Wärmepumpe genutzt werden.

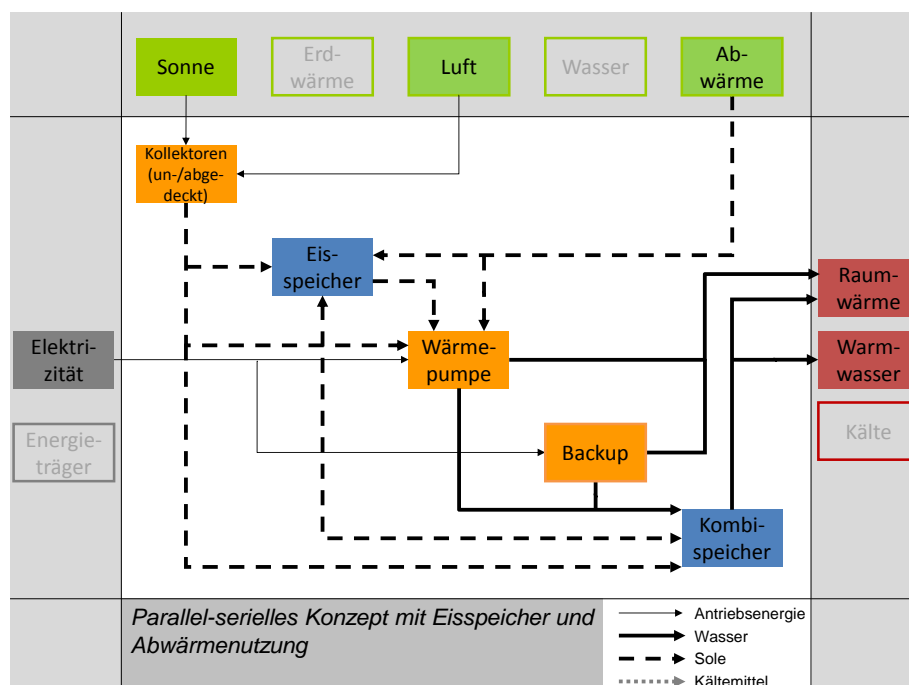


Abbildung 1: Analysiertes Systemkonzept mit den wichtigsten Systemkomponenten und ihren hydraulischen Verbindungen. Abwasser-Wärmerückgewinnung („Abwärme“) wird als Variante betrachtet. Je nach Anlagenauslegung kann auf die Zusatzheizung („Backup“) verzichtet werden.

Der Eisspeicher dient auch der langfristigen Speicherung der Solarenergie von den Sommer in die Wintermonate und hat dadurch eine Größe, die eine Installation außerhalb des Gebäudes nötig macht. Im vorliegenden Beitrag wird als Eisspeicher eine Betonzisterne modelliert, welche erdvergraben im Garten installiert wird. Im Eisspeicher werden enteisbare Wärmeübertrager verwendet, welche am SPF entwickelt wurden [3,4]. Die Wärmeübertrager werden im Winterhalbjahr oft mehrmals täglich enteist, falls sich durch den Entzug der

Wärmepumpe dickes Eis auf den Wärmeübertrager-Platten gebildet hat. Die Enteisung erfolgt in der Regel mit Solarenergie (direkt oder aus dem Solarteil des Pufferspeichers) und muss in seltenen Fällen im Hochwinter mit dem Elektroheizstab durchgeführt werden.

Als zusätzliche Systemkomponente wurde die Einbindung eines Abwassertanks zur Nutzung der Abwasser-Abwärme untersucht (Abb. 3). Die im Abwassertank von der Sole aufgenommene Abwärme kann entweder direkt auf den Verdampfer der Wärmepumpe geleitet werden oder alternativ in den Eisspeicher eingebracht werden. Im Abwassertank werden 130 Liter Abwasser (Grauwasser) zwischengelagert. Der Wärmeentzug erfolgt durch einen eingetauchten Rohrwendel-Wärmeübertrager, in welchem die kalte Sole zirkuliert.

Zusätzlich wurde auch ein Fallrohr-Wärmeübertrager untersucht (Abb. 3), welcher gewöhnlich in einem raumhohen Abschnitt des Abwasserfallrohrs eingebracht wird. Er besteht aus einem gut wärmeleitenden Abwasserrohr, welches von einer Rohrwendel umgeben ist. Die Rohrwendel ist von Sole durchströmt und entzieht dem Abwasser einen Teil seiner Wärme. Da die Effizienzgewinne durch den Abwassertank deutlich grösser sind als diejenigen, die mit einem Fallrohr-Wärmeübertrager erzielt werden können [5], wird in diesem Beitrag ausschließlich die Wärmerückgewinnung mit Abwassertank betrachtet.

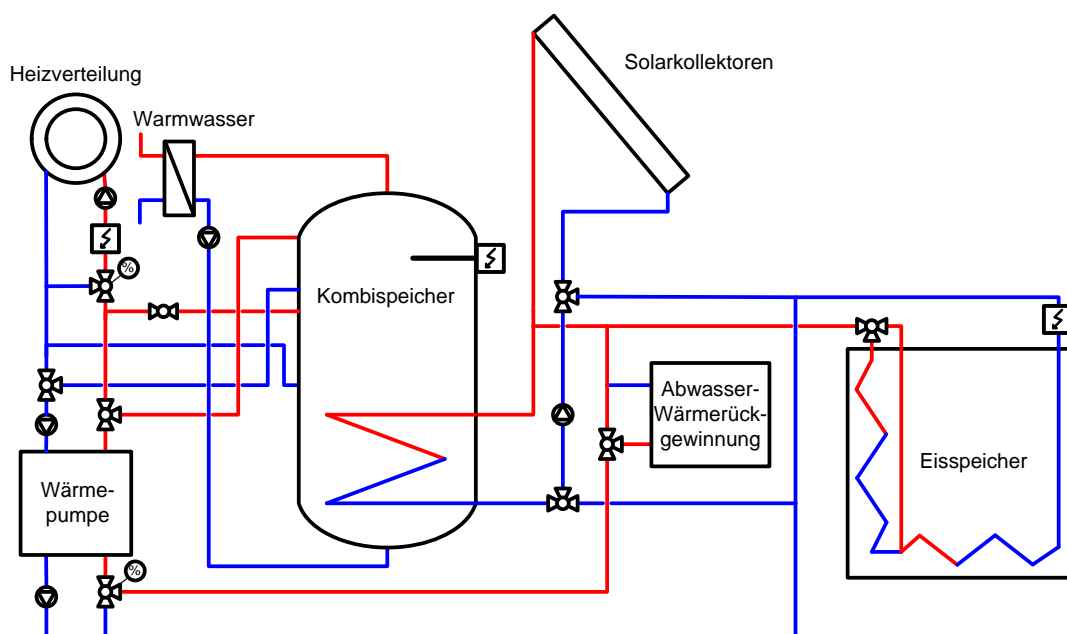


Abbildung 2: Vereinfachtes Hydraulikschema des Systemkonzepts.

In den Heizsystemen werden alternativ verglaste oder unverglaste Kollektoren eingebunden, welche beide selektiv beschichtet sind. Die verglasten Kollektoren sind hermetisch dicht, damit sie unter dem Taupunkt der Umgebungsluft betrieben werden können, was v.a. im Frühjahr relevant ist, wenn der Eisspeicher noch vereist ist und die Außentemperaturen wieder ansteigen, oder bei direkter Nutzung der Solarwärme im Verdampfer der

Wärmepumpe. Die unverglasten Kollektoren sind gerahmte Kissenabsorber aus Edelstahl, welche mit wetterbeständigem, selektiv wirkendem Schwarzchrom beschichtet sind.

In den Simulationen werden die Kollektorfeldfläche im Bereich von 10 - 30 m² und das Eisspeichervolumen im Bereich von 10 - 30 m³ variiert, um ihren gemeinsamen Einfluss auf die System-Jahresarbeitszahl und die Umweltwirkungen zu analysieren.

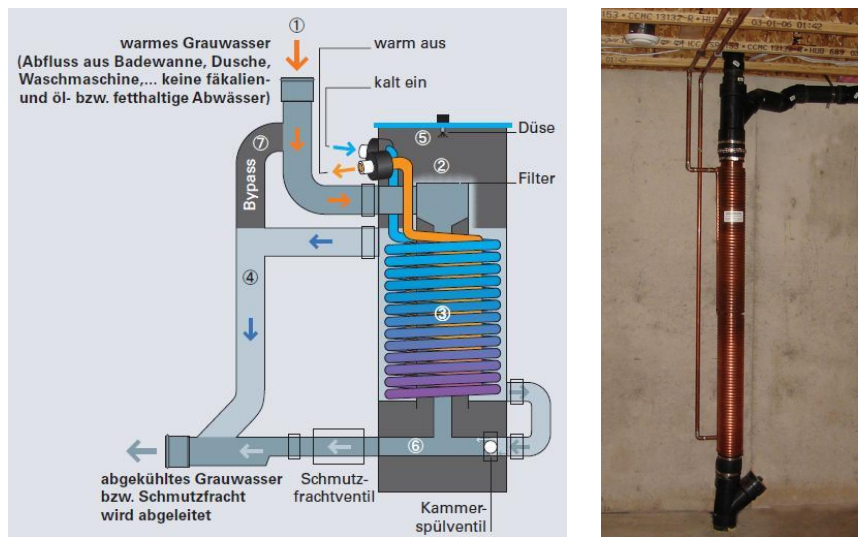


Abbildung 3: Abwassertank (links) und Fallrohr-Wärmeübertrager (rechts), Bildquellen: Forstner GmbH, GFX-Technology.

Methodik

Systemsimulationen mit TRNSYS

Die Simulationen des dynamischen energetischen Verhaltens der Heizsysteme wurde mit TRNSYS 17 durchgeführt.

Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden mit einem Einfamilienhaus mit 140 m² Energiebezugsfläche simuliert. Das Gebäude hat eine Fußbodenheizung (Vorlauf 35°C /Rücklauf 30°C bei Auslegetemperatur), einen Heizenergiebedarf von 58 kWh/(m² a) und einen Warmwasserbedarf von 2 MWh gemäß den Definitionen aus dem IEA - SHC Task 44/ HPP Annex 38 (Gebäude SFH45; Details siehe [6] und [7]).

Es wurde mit einem Klimadatensatz von Zürich simuliert. Da der Eisspeicher erdvergraben ist, wurde das Eisspeichermodell (Details siehe [4]) mit einem eigenen 2-D-Erdreichmodell gekoppelt.

Das verwendete Abwasserprofil basiert auf einer Feldmessung in einem Einfamilienhaus in Österreich und wurde von TU Graz / AEE Intec [8] zur Verfügung gestellt. Das dort gemessene Warmwasserprofil wurde skaliert, damit der Jahresbedarf mit dem Task44-Profil

übereinstimmt. Der gleiche Skalierungsfaktor wurde verwendet, um den Durchfluss des gemessenen Grauwassers anzupassen.

Definition System-Jahresarbeitszahl

Die energetische Effizienz der Heizungsanlagen wird mit der System-Jahresarbeitszahl bewertet, welche aus dem Quotienten der gesamten im Laufe eines Jahres abgegebenen Wärme ($Q_{Raumheizung} + Q_{Warmwasser}$) und des dafür benötigten Bedarf an elektrischer Energie ($W_{Elektrizität}$) gebildet wird.

$$JAZ_{Sys} = \frac{Q_{Raumheizung} + Q_{Warmwasser}}{W_{Elektrizität}}$$

Die Systemgrenzen wurde gemäß einer Definition aus dem IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38 [9] gewählt: der Verbrauch an elektrischer Energie $W_{Elektrizität}$ beinhaltet den gesamten Bedarf der Heizungsanlage inklusive Heizkreis-Umwälzpumpe.

Ökobilanz

Die Ökobilanz liefert zusätzlich zur Betriebsenergie weitere Kriterien zur Bewertung der Systemvarianten. Dabei wird die Umweltwirkung des Heizsystems „von der Wiege bis zur Bahre“ betrachtet. Neben der Umweltwirkung aus der Betriebsphase wird auch die Umweltwirkung für Erstellung und Entsorgung der Anlage bewertet.

Betrachtungsgröße (Funktionelle Einheit) in der Ökobilanz ist die Bereitstellung von 1 MJ Nutzenergie, welche an das Gebäude in Form von Heizwärme und Brauchwarmwasser abgegeben wird.

Folgende Bewertungsmethoden werden in der vorliegenden Ökobilanz angewandt:

- Nicht-erneuerbare kumulierte Energieaufwand (KEA_{nEE}), welcher den Verbrauch an nicht-erneuerbaren Primärenergieträgern berücksichtigt,
- Treibhauspotenzial (GWP) mit einem Bewertungshorizont von 100 Jahren.

Addiert und bewertet werden jeweils sämtliche Bezüge bzw. Emissionen in allen Lebensphasen einer Anlage. Für das Inventar wurde die Datenbank ecoinvent Version 3 (2014) verwendet. Die Ökobilanzen wurden mit dem Programm SimaPro Version 8 [10] ausgeführt.

Da der Kompressor der Wärmepumpe mit elektrischer Energie betrieben wird, entsteht ein Teil der Umweltwirkungen der Heizungen durch den Verbrauch elektrischer Energie während der Betriebsphase. Die Erzeugung dieser Energie hat einen relevanten Einfluss auf die Ergebnisse der Ökobilanzen. Um die Stärke dieses Einfluss aufzuzeigen, wird ein Teil der Ökobilanzen mit deutschem und Schweizer Strommix berechnet (Abb. 4) [11].

Während der Schweizer Strommix mit Atom- und Wasserkraft v.a. von Primärenergiequellen mit geringen CO₂-Emissionen stammt, kommen die wichtigsten Anteile am deutschen Strommix teils von CO₂-intensiven Energieträgern, was das GWP dieses Strommix deutlich erhöht. Für die Ökobilanz wurden keine Methoden verwendet, welche die Auswirkungen und Risiken der Atomkraftnutzung bewerten, weshalb der Schweizer Strommix hier grundsätzlich gut abschneidet.

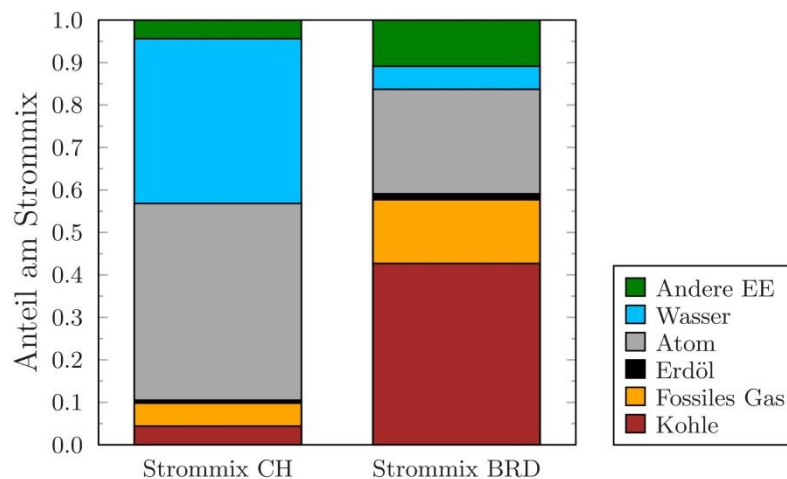


Abbildung 4: Vergleich von Schweizer und deutschem Strommix (Daten aus [11]).

Ergebnisse der Systemsimulationen

In der Folge wird der Einfluss von unterschiedlichen Eisspeicher- und Kollektorfeldgrößen auf die System-Jahresarbeitszahl (JAZ_{sys}) der Heizungen aufgezeigt. Die Komponenten-Größen wurden dabei so gewählt, dass der Eisspeicher bei kleiner Auslegung der Anlage im Laufe des Winters phasenweise vollständig vereist. Der Eisspeicher fällt während dieser Zeiten als Quelle für die Wärmepumpe aus. Da bei allen untersuchten Systemen Situationen auftreten, bei welchen das Kollektorfeld alleine nicht ausreichend Wärme an die Wärmepumpe liefern kann, muss dann zeitweise ein elektrischer Heizstab zur Versorgung des Gebäudes eingesetzt werden. Dies ist vor allem in kalten Winternächten der Fall.

Die JAZ_{sys} steigt wie zu erwarten für alle Systeme mit Vergrößerung der beiden Komponenten Eisspeicher und Kollektorfeld an (Abb. 5). Dies bedeutet, dass größere Systeme die gleiche Wärmemenge mit geringerem Elektrizitätsbedarf liefern. Der Anstieg der JAZ_{sys} flacht stark ab, sobald eine Systemgröße erreicht wird, bei der die elektrische Zusatzheizung nicht mehr benötigt wird. Dies ist mit 30 m³ Eisspeicher (türkisfarbene Linie) ab 15 m² und mit 20 m³ Eisspeicher (grüne Linie) ab 25 m² Kollektorfläche) der Fall.

Kleine Systeme erreichen mit unverglasten selektiven Kollektoren leicht höhere JAZ_{sys} als mit verglasten selektiven Kollektoren. Die Ursache hierfür ist, dass unverglaste Kollektoren bei Betrieb nahe Außentemperatur (v.a. im Winterhalbjahr) auf Grund ihres höheren η_0 eine

höhere Effizienz haben als verglaste. Werden die unverglasten Kollektoren zudem unterhalb der Außentemperatur betrieben, was im Winter und Frühjahr der Fall sein kann, wird zusätzlich zur Solarstrahlung noch Wärme von der Außenluft via Kollektoren ins System gebracht. Dies reduziert bei kleinen Systemen die Zeit, während der der Eisspeicher vollständig vereist ist und der Heizstab zur Versorgung des Gebäudes eingesetzt wird. Nähert sich die Größe der Systemkomponenten dem Punkt, an dem der Heizstab nicht mehr benötigt wird, ist der Einsatz von verglasten Kollektoren vorteilhaft.

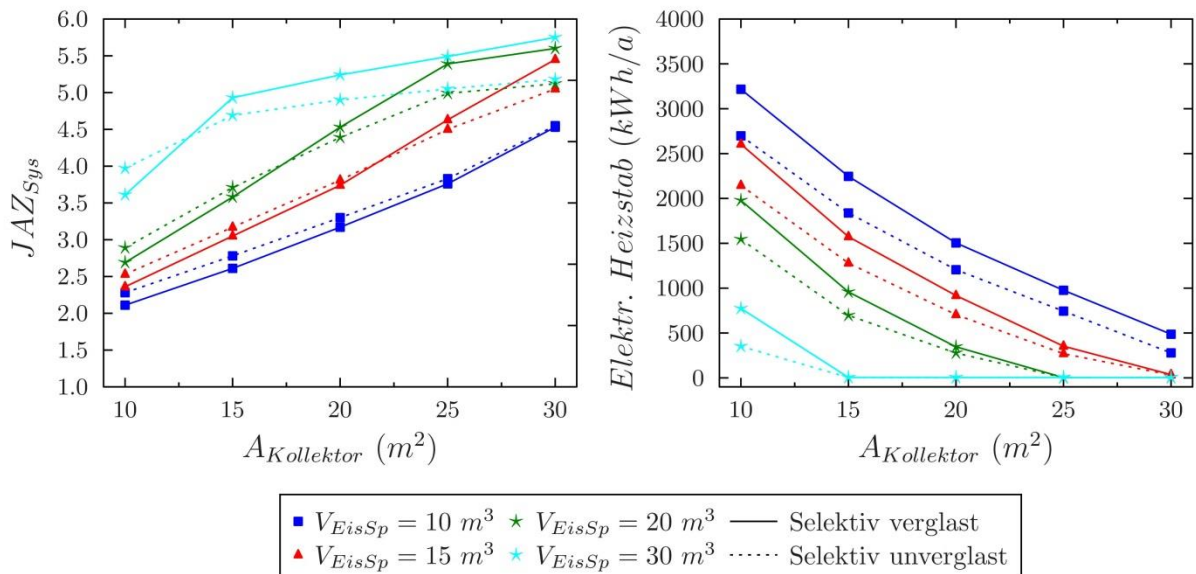


Abbildung 5: Einfluss von Kollektorfeld- und Eisspeichergroße auf die System-Jahresarbeitszahl (JAZ_{Sys}) (links) und den elektrischen Energiebedarf für den Heizstab (rechts).

Der Einfluss der Abwasser-Wärmerückgewinnung auf die Effizienz ist in Abbildung 6 dargestellt. Für die Simulationen mit unverglasten Kollektoren (Abb. 6, links) ist mit Pfeilen der Fall dargestellt, dass bei gleichbleibender JAZ_{Sys} von 4,0 durch den Einsatz der Abwasser-WRG die Kollektorfläche reduziert werden kann. Die mögliche Reduktion der Kollektorfläche liegt zwischen ca. 30% ($30 m^3$ Eisspeicher) und 40% ($10 m^3$ Eisspeicher).

Bei den verglasten Kollektoren ist für 3 Systeme, bei denen keine elektrische Zusatzheizung mehr benötigt wird (siehe Abb. 5), der Anstieg der JAZ_{Sys} durch Nutzung der Abwasser-Abwärme dargestellt. Die Zunahme der System-Jahresarbeitszahlen aufgrund der Abwasser-WRG beträgt jeweils ca. 5% und fällt somit gering aus.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei denjenigen Systemen, welche wegen einer vollständigen Vereisung des Eisspeichers im Verlauf des Winters den Einsatz einer elektrischen Zusatzheizung benötigen, die Abwasser-WRG einen deutlichen energetischen Nutzen bringt. Als Folge davon kann mit Abwasser-WRG die Kollektorfläche bei gleichbleibender

Systemeffizienz um bis zu 40% reduziert werden, oder bei Beibehalten der Kollektorfläche die System-Jahresarbeitszahl deutlich erhöht werden (in Abb. nicht gezeigt).

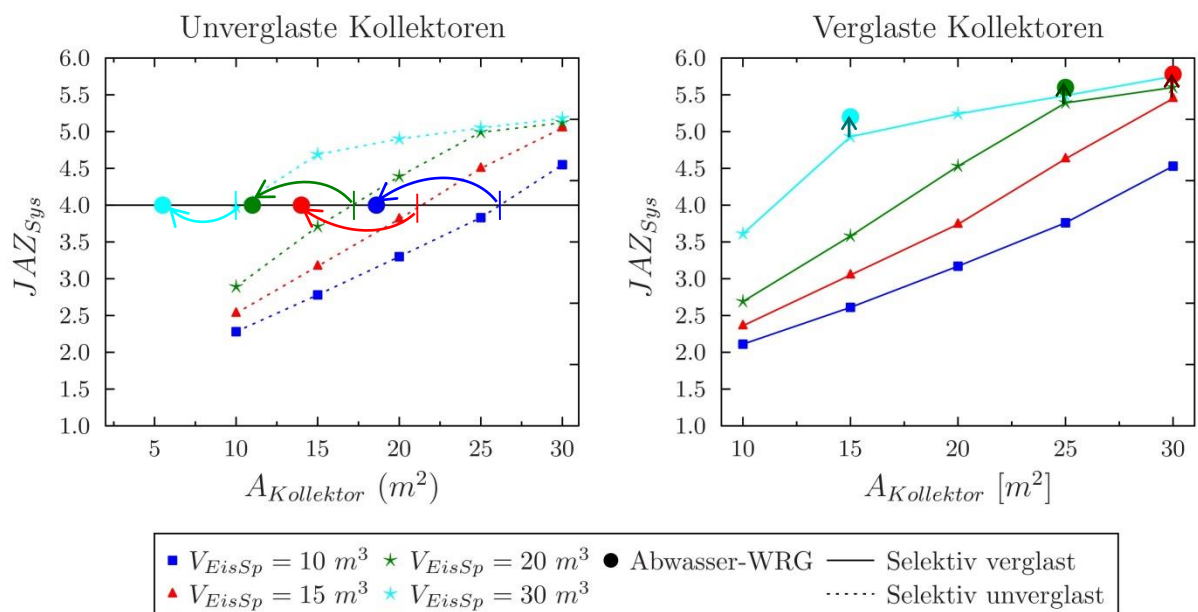


Abbildung 6: Auswirkung von Abwasser-Wärmerückgewinnung (WRG) auf die System-Jahresarbeitszahl (JAZ_{Sys}) von Eisspeicher-Heizungen mit unverglasten Kollektoren (links) und verglasten Kollektoren (rechts).

Die mit TRNSYS simulierte System-Jahresarbeitszahlen zeigen, dass sich im betrachteten Bereich die Vergrößerung der Komponenten bei allen Systemen lohnt, wenn der Stromverbrauch während der Betriebsphase gesenkt werden soll. Wo hingegen ein Optimum des Energieverbrauchs während der gesamten Lebensdauer der Anlage liegt, kann wiederum mit Ökobilanzen ermittelt werden. Basierend auf den Ergebnissen der TRNSYS-Simulationen wurden Ökobilanzen durchgeführt, deren Ergebnisse im nachfolgenden Kapitel aufgeführt sind.

Ergebnisse der Ökobilanzierung

Der Anteil der Infrastruktur an der gesamten Umweltwirkung des untersuchten Heizsystems ist in Abbildung 7 beispielhaft für ein System mit $20 m^3$ Eisspeicher und $20 m^2$ verglasten Kollektoren gezeigt (System mit JAZ_{Sys} 4,5, siehe Abb. 5; ohne Abwasser-WRG).

Der nicht-erneuerbare kumulierte Energieaufwand (KEA_{NEE}) wird für beide Strommixe durch die Betriebsphase mit einem Anteil von jeweils rund 85% dominiert. Der Einfluss der Infrastruktur (Erstellung und Entsorgung der Anlage) ist also klein: die Solaranlage und der Eisspeicher haben als einzige eine relevante, aber geringen Anteil am KEA_{NEE} .

Das Treibhauspotential (GWP) der Heizung wird nur für den deutschen Strommix von der Betriebsphase dominiert. Der hohe Anteil von 80% ist auf den großen Beitrag fossiler Primärenergieträger am deutschen Mix zurückzuführen.

Mit Schweizer Strommix ist der Einfluss der Infrastruktur auf das GWP etwa gleich groß wie der Einfluss der Betriebsphase. Der im Vergleich zum deutschen Strommix kleinere Anteil der Betriebsphase entsteht beim GWP durch einen hohen Anteil von Wasserkraft und Atomstrom am Schweizer Strommix.

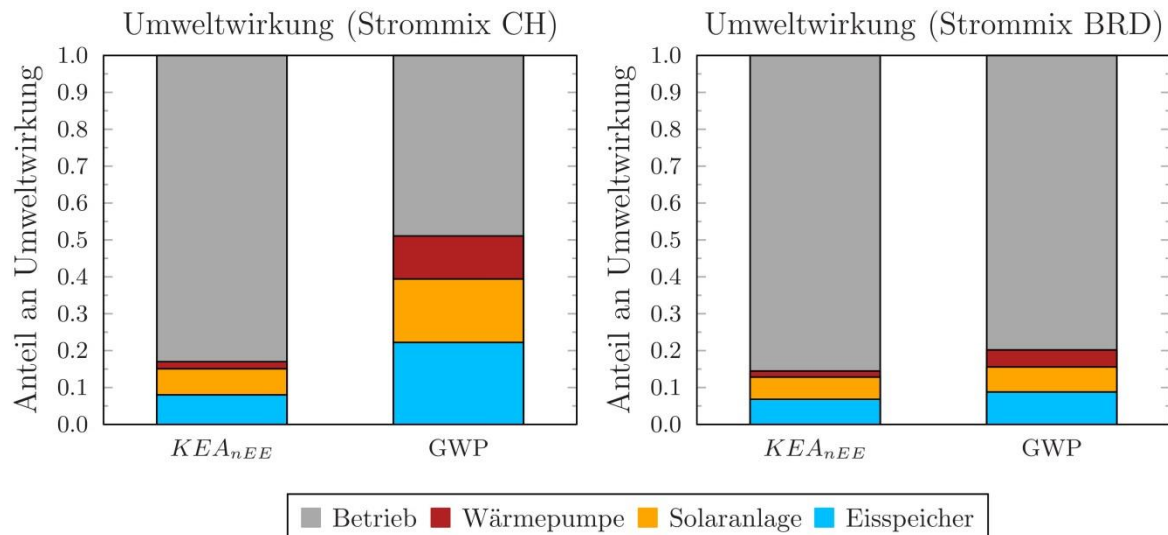


Abbildung 7: Anteil der Infrastruktur-Komponenten und der Betriebsphase an den Umweltwirkungen KEA_{nEE} und GWP während der Lebensdauer am Beispiel einer Heizung mit 20 m^3 Eisspeicher und 20 m^2 verglasten Kollektoren für deutschen und Schweizer Verbraucher-Strommix.

Trotz des meist dominanten Anteils der Betriebsphase auf die Umweltwirkung einer Anlage, zeigen die Ökobilanzen in Abbildung 8 & 9, dass es sich gemäß den Indikatoren KEA_{nEE} und GWP nicht lohnt, den Verbrauch elektrischer Energie der Betriebsphase durch die Installation großer Eisspeicher und/oder Kollektorfelder stark zu reduzieren.

Wird den Ökobilanzen der Schweizer Strommix zugrunde gelegt (Abb. 8), so erreicht der nicht erneuerbare kumulierte Energieaufwand für die betrachteten Systeme dann ein minimales (fast konstantes) Niveau, wenn die Komponenten eine Größe erreicht haben, bei der im Winter keine elektrische Zusatzheizung mehr eingesetzt werden muss.

Für die Systeme mit einem Eisspeicher von 30 m^3 liegt dieses Minimum schon bei einer Fläche von rund 15 m^2 verglaster Kollektoren. Der gleiche Primärenergieaufwand wird von einer Heizung mit halb so großem Eisspeicher und doppelter Kollektorfläche benötigt (Abb. 8, KEA_{nEE} , rote Kurve).

Ein anderes Bild zeigt das Treibhauspotenzial. Es ergeben sich für beide Kollektorarten Minima. Wird davon ausgehend die Kollektorfläche oder das Eisspeichervolumen erhöht, steigt das GWP an. Die Unterschiede zwischen den betrachteten Systemen sind beim GWP aber generell klein.

Die Verwendung von verglasten Kollektoren ist gemäß den beiden Indikatoren leicht vorteilhaft, wenn die Umweltwirkung minimiert werden soll. Der Unterschied beim KEA_{nEE} ist im betrachteten Bereich aber gering. Beim GWP zeigt sich für größere Systeme eine deutliche Verschlechterung für die unverglasten Kollektoren.

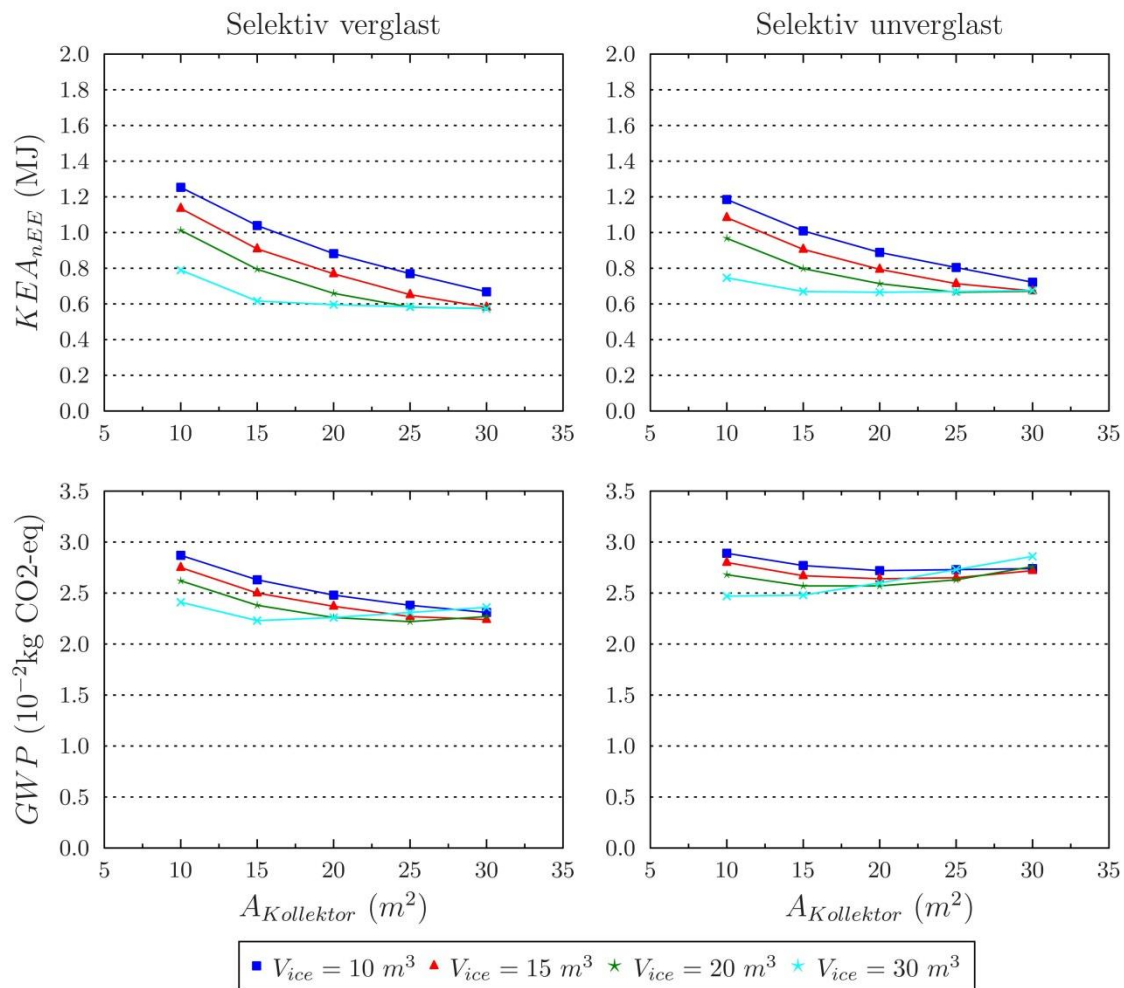


Abbildung 8: Einfluss der Eisspeicher- und Kollektorfeldgröße auf den nicht-erneuerbaren kumulierten Energieaufwand (KEA_{nEE}) und das Treibhauspotential (GWP) von Eisspeicherheizungen mit selektiv-verglasten und -unverglasten Kollektoren unter Annahme eines **Schweizer Strommix**.

Da der deutsche Strommix mehr fossile Primärenergien beinhaltet, zeigen die Ergebnisse der Ökobilanz hier ein leicht anderes Muster (Abb. 9). Zudem haben die Systeme v.a. beim Treibhauspotential untereinander größere Unterschiede.

Die Umweltwirkungen sind wiederum nahezu minimal, sobald keine elektrische Zusatzheizung eingesetzt werden muss. Bei den Systemen mit verglasten Kollektoren reduzieren sich die Umweltwirkungen danach tendenziell noch weiter mit größer werdenden Komponenten (siehe 30 m³-Systeme).

Der Vergleich von Abbildung 8 & 9 zeigt, dass der Einfluss des Strommix, mit dem eine Anlage betrieben wird, entscheidend für ihre Umweltwirkung sein kann. Während der Zuwachs für den Primärenergieaufwand (KEA_{nEE}) bei „nur“ rund +20% liegt, wenn von Schweizer auf deutschen Strommix gewechselt wird, beträgt der Zuwachs beim Treibhauspotential +140%.

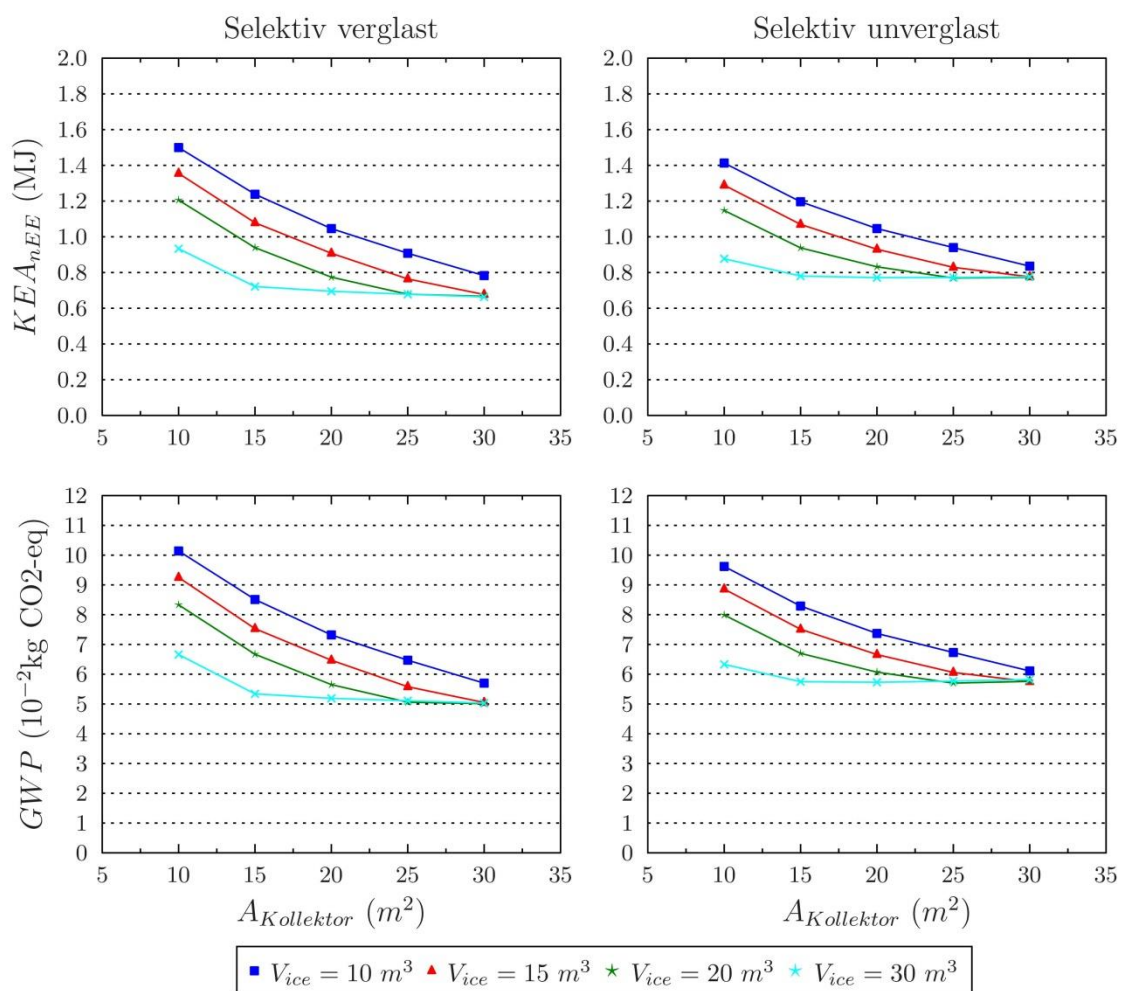


Abbildung 9: Einfluss der Eisspeicher- und Kollektorfeldgröße auf den nicht-erneuerbaren kumulierten Energieaufwand (KEA_{nEE}) und das Treibhauspotential (GWP) von Eisspeicherheizungen mit selektiv-verglasten und -unverglasten Kollektoren unter Annahme eines **deutschen Strommix**.

Der Einfluss der Abwasser-WRG auf die Umweltwirkungen ist in der nachfolgenden Abbildung für die 4 Systeme aus Abbildung 6 mit selektiven unverglasten Kollektoren und $JAZ_{\text{Sys}} 4,0$ für den Schweizer Strommix dargestellt.

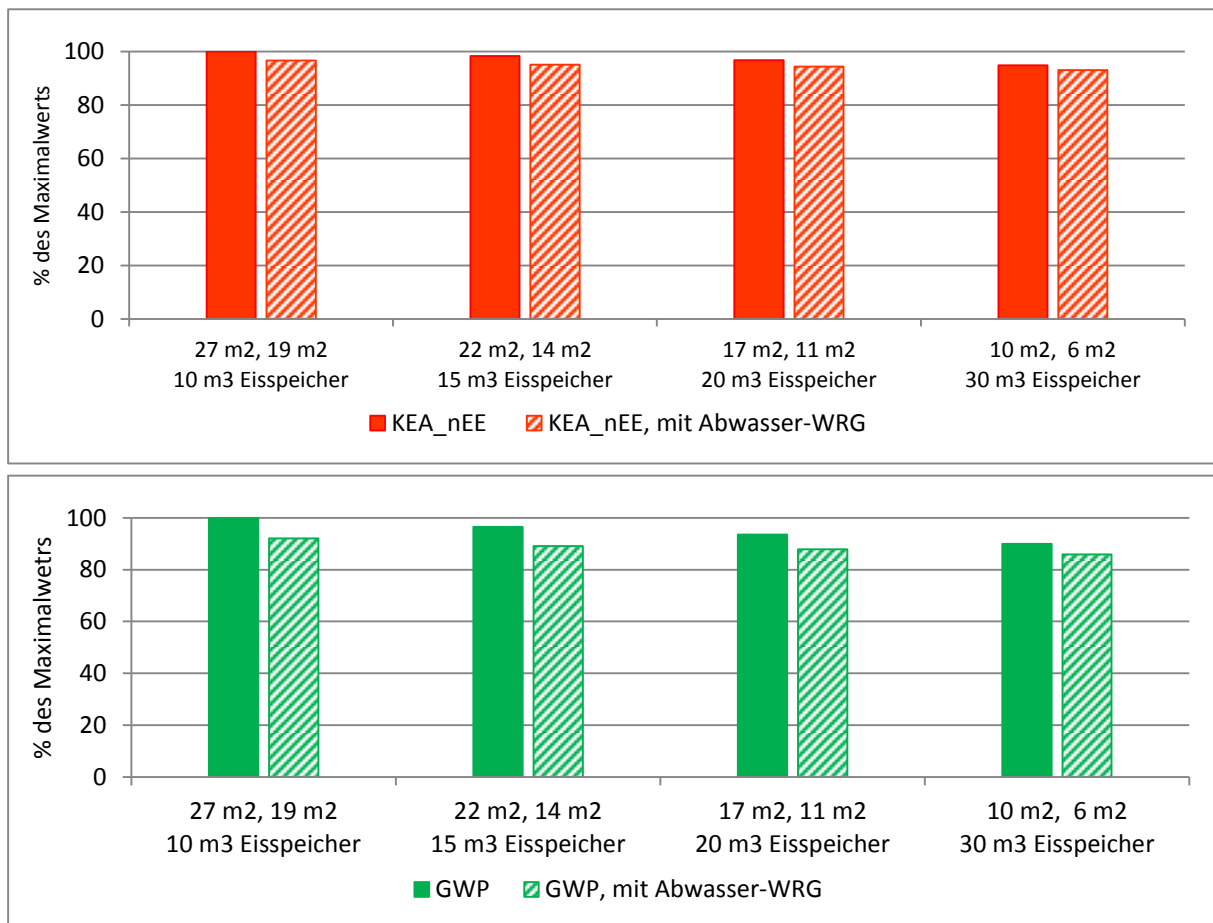


Abbildung 10: Relative Abnahme des nicht-erneuerbaren kumulierten Energieaufwands (KEA_{nEE}) (oben) und des Treibhauspotenzials (GWP) (unten) bei Verwendung von Abwasser-Wärmerückgewinnung (WRG) und gleichzeitiger Reduktion der Kollektorfeldgröße (m^2 siehe x-Achse) für 4 Heizsysteme mit unterschiedlichen Eisspeichergrößen. (Alle Systeme mit $JAZ_{\text{Sys}} 4,0$ und selektiven, unverglasten Kollektoren unter Annahme eines Schweizer Verbraucher-Strommix)

Durch den Einsatz eines Abwassertanks bei gleichzeitiger Reduktion der Kollektorfläche wird der KEA_{nEE} der Systeme jeweils um ca. 5% reduziert. Eine weitere leichte Reduktion des KEA_{nEE} kann dadurch erreicht werden, dass eher ein großer Eisspeicher gewählt wird und dafür das Kollektorfeld verkleinert wird.

Die Reduktion der Umweltwirkung durch Abwasser-WRG ist beim GWP mit rund 10% bei allen Systemen etwas stärker ausgeprägt. Auch hier reduziert sich die Umweltwirkung weiter durch den Einsatz eines größeren Eisspeichers bei gleichzeitiger Reduktion des Kollektorfelds.

Schlussfolgerungen

Die TRNSYS-Simulationen zeigen insbesondere für die Systeme mit verglasten Kollektoren, dass die mit der JAZ_{Sys} gemessene Systemeffizienz in der Betriebsphase umso besser wird, je grösser der Eisspeicher und das Kollektorfeld gewählt werden. Allerdings sinkt der Zusatznutzen von größeren Komponenten stark ab nach Erreichen einer Systemgröße, bei der keine elektrische Zusatzheizung mehr benötigt wird.

Die durchgeführte Ökobilanzierung erweitert den Blick auf die gesamte Lebensdauer der Heizung. Hat die Heizung große Komponenten, kann durch den Einbezug der Lebensdauer-Betrachtung verhindert werden, dass Komponenten zu groß dimensioniert werden. Die Ökobilanzen zeigen, ab wann der zusätzliche Materialaufwand den nicht-erneuerbaren kumulierten Energieaufwand und das Treibhauspotential über die Lebensdauer nicht mehr weiter reduziert.

Wie schon die TRNSYS-Simulationen, zeigen auch die Ökobilanzen, dass mit erster Priorität der Einsatz der elektrischen Zusatzheizung verhindert werden muss, um die Effizienz der Heizungen – bei den Ökobilanzen mit gelieferter Nutzenergie pro Umweltwirkung gemessen – auf ein hohes Niveau zu bringen.

Wird der nicht-erneuerbare kumulierte Energieaufwand (KEA_{nEE}) als Bewertungskriterium betrachtet, lohnt sich eine weitergehende Vergrößerung von Eisspeicher oder Kollektorfeld lediglich dann, wenn ein Strommix mit großem Anteil an fossiler Energie den Berechnungen zugrunde gelegt wird (deutscher Strommix) und verglaste Kollektoren verwendet werden. Wird die Wärmepumpe mit einem Strommix betrieben, welcher einen großen erneuerbaren Anteil hat (Schweizer Strommix mit viel Wasserkraft), bleibt bei den betrachteten Systemen der KEA_{nEE} nahezu konstant, d.h. es lohnt sich nicht, die Anlage zu vergrößern, da der Primärenergieverbrauch nicht weiter abgesenkt werden kann.

Kleinste Systeme mit minimalem KEA_{nEE} haben beispielsweise Eisspeichervolumen und Kollektorflächen von 20 m^3 & 25 m^2 oder 30 m^3 & 15 m^2 .

Bei Verwendung des Treibhauspotenzials (GWP) als Bewertungskriterium zeigt sich eine starke Abhängigkeit der Ergebnisse vom gewählten Strommix. Wird mit dem Schweizer Strommix ein eher CO_2 -armer Mix verwendet, so sind die Unterschiede zwischen den analysierten Systemen relativ klein, und die Umweltwirkung ist in etwa bei denjenigen Systemen minimal, welche gerade keine elektrische Zusatzheizung benötigen. Werden die Systeme grösser ausgelegt, steigt das GWP wieder an.

Wird der deutsche Strommix mit großem Anteil an fossiler Energie verwendet, so ist das GWP der Systeme generell stark erhöht, und die Unterschiede zwischen den Systemen sind stärker ausgeprägt. Aber auch hier bringt eine Vergrößerung der Systeme über den Punkt hinaus, an dem kein elektrischer Heizstab mehr benötigt wird, keinen Zusatznutzen.

Kleinste Systeme mit minimalem GWP haben bei beiden Strommixen Eisspeichervolumen und verglaste Kollektorflächen von rund 20 m^3 & 25 m^2 oder 30 m^3 & 15 m^2 . Bei Systemen mit unverglasten Kollektorfeldern sind die Kollektorflächen tendenziell um ca. 5 m^2 reduziert.

Für eher klein ausgelegte Systeme mit einer JAZ_{Sys} von 4,0 wurde gezeigt, dass mit Einsatz eines Abwassertanks für die Abwasser-WRG die Kollektorfläche um bis zu 40% reduziert werden kann ohne eine Reduktion der JAZ_{Sys} . Dies kann von Vorteil sein, wenn wegen örtlicher Gegebenheiten nur wenige Kollektoren installiert werden können. Wird Abwasser-Wärmerückgewinnung eingesetzt und die ursprüngliche Kollektorfläche beibehalten, ist der energetische Gewinn nur für klein ausgelegte Systeme relevant. Bei Systemen, welche keine elektrische Zusatzheizung benötigen, liegt die Erhöhung der JAZ_{Sys} lediglich bei circa 5%. Die Ökobilanz für die Systeme mit JAZ_{Sys} 4,0 mit unverglasten selektiven Kollektoren zeigt, dass Abwasser-Wärmerückgewinnung bei gleichzeitiger Reduktion der Kollektorfläche den KEA_{NEE} um rund 5% und das GWP um rund 10% reduzieren kann. Auch zeigt sich, dass es für die betrachteten Umweltwirkungen von Systemen mit JAZ_{Sys} 4,0 günstig ist, eher ein großes Eisspeichervolumen zu wählen und die unverglaste Kollektorfläche klein zu wählen.

Generell sind die Ergebnisse der Ökobilanz stark abhängig von den Annahmen, welche hinsichtlich Strommix und auch Materialzusammensetzung insbesondere von Eisspeicher und Kollektoren getroffen werden. Die Annahmen beeinflussen die Höhe der Umweltwirkungen und auch die Systemauslegung. Die Studie zeigt jedoch, dass die Systeme in der Tendenz derart ausgelegt werden sollten, dass sie möglichst klein sind und gleichzeitig keine elektrische Zusatzheizung benötigen.

Dieser Beitrag gibt Zwischenergebnisse aus dem Projekt „High Ice“ wieder, welches im Auftrag des schweizerischen Bundesamts für Energie durchgeführt wird. Detaillierte Projektergebnisse, welche auch unterschiedliche Gebäude enthalten, werden mit dem Schlussbericht im Laufe des Jahres 2015 veröffentlicht.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist Bestandteil eines Projekts, welches im Auftrag des schweizerischen Bundesamts für Energie (BFE) durchgeführt wird. Die Autoren bedanken sich beim BFE für die Finanzierung des Projekts.

Referenzen

- [1] Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen mit Sonnenkollektoren – Technologiestudie, Schlussbericht 15. September 2014, Weisskopf Partner GmbH im Auftrag des Bundesamts für Energie, Schweiz, 2014
- [2] Philippen D., Carbonell D., Haller M. Y., Frank E., Brunold S., Auslegung und Betrieb einer hocheffizienten Solarthermie-Wärmepumpen-Heizung mit Eisspeicher, 24. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 7.-9. Mai 2014, Kloster Banz, Bad Staffelstein, OTTI e.V., Regensburg
- [3] Philippen D., Haller M. Y., Logie W., Thalmann M., Brunold S., Frank E., Development of a heat exchanger that can be de-iced for the use in ice stores in solar thermal heat pump systems. In Proceedings of EuroSun, Rijeka and Opatija, Croatia, 2012
- [4] Carbonell D., Philippen D., Haller M. Y., Frank E., Development and validation of a mathematical model for ice storages with heat exchangers that can be de-iced, Energy Procedia Vol 57 p. 2342-2351, 2014
- [5] Carbonell D., Philippen D., Granzotto M., Haller M. Y., Frank E., Simulation of Combined Solar Thermal, Heat Pump, Ice Storage and Waste Water Heat Recovery Systems. Design Criteria and Parametric Studies, EuroSun-Konferenz, 2014
- [6] Dott R., Haller M., Ruschenburg J., Ochs F., Bony J., The reference framework for system simulation of the IEA SHC Task44/HPP Annex 38: Part B : Building and space heat load. Technical Report IEA-SHC Task44 Subtask C. www.iea-shc.org/task44, 2012
- [7] Haller M., Dott R., Ruschenburg J., Ochs F., Bony J., The reference framework for system simulation of the IEA SHC Task44/HPP Annex 38: Part A : General simulation boundary conditions. Technical Report IEA-SHC Task44 Subtask C. www.iea-shc.org/task44, 2012
- [8] Heinz A., Lerch W., Breidler J., Fink Ch., Wagner W., Wärmerückgewinnung aus Abwasser im Niedrigenergie- und Passivhaus: Potenzial und Konzepte in Kombination mit Solarthermie und Wärmepumpe – WRGpot, TU Graz und AEE Intec im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2013
- [9] Malenković I., Eicher S., Bony J., Definition of Main System Boundaries and Performance Figures for Reporting on SHP Systems, International Energy Agency, SHC Task44 / HPP Annex 38, A technical report of Subtask B, Deliverable B1.1, Final Document, Date: 28. December 2012
- [10] SimaPro 8, PRé Consultants bv, Amersfoort, The Netherlands
- [11] Treyer K., Bauer Ch., Life cycle inventories of electricity generation and power supply in version 3 of the ecoinvent database—part II: electricity markets, The International Journal of Life Cycle Assessment, 2014