



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Energieforschung

Schlussbericht 14. Dezember 2016

ReSoTech – Reduktion der Marktpreise solarthermischer Anlagen durch neue technologische Ansätze

Teil 1: Potenzialanalyse und Lösungsansätze



Datum: 14. Dezember 2016

Ort: Bern

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Solarwärme und Wärmespeicherung
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

SPF Institut für Solartechnik
Hochschule für Technik HSR
Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil
www.spf.ch

Autoren:

Daniel Philippen, daniel.philippen@spf.ch
Marco Caflisch, marco.caflisch@spf.ch
Stefan Brunold, stefan.brunold@spf.ch
Michel Haller, michel.haller@spf.ch

Begleitgruppe:

David Ehrat, Ammann + Schmid AG
Bernard Thissen, Energie Solaire S.A.
Andreas Haller, Ernst Schweizer AG, Metallbau
Ralf Eismann, ETH Zürich, Institut für Energietechnik
Florian Schweizer, Helion Solar Zürich AG
Jürg Marti, Marti Energietechnik
Ivo Diezinger, Selm Heizsysteme AG
Hansjörg Roth, Solarpartner GmbH
Ueli Frei, SOLTOP Schuppisser AG
Daniel Vögelin, Vögelin GmbH

BFE-Bereichsleitung: Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Programmleitung: Jean-Christophe Hadorn, jchadorn@baseconsultants.com

BFE-Vertragsnummer: SI/501397-01

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

Mit Teil 1 des Projekts „ReSoTech“ wurden aktuelle Endkundenpreise für Solarthermieanlagen erhoben und Strategien für eine Reduktion der Kosten dieser Anlagen untersucht. Der Einfluss verschiedener technischer Massnahmen auf die Investitionskosten und die Kosten während der Nutzungsdauer wurden beispielhaft für eine Referenzanlage zur solarthermischen Warmwasserbereitung in einem bestehenden Mehrfamilienhaus (MFH) quantifiziert. Für die geplanten Arbeiten im zweiten Projektteil wurden in Rücksprache mit einer Begleitgruppe erfolgversprechende technische Massnahmen ausgewählt, deren Realisierbarkeit in Konzeptstudien und mit Prototypen aufgezeigt werden soll.

Gemäss Markterhebung liegen die Kosten für eine typische Warmwasser-Solaranlage für Einfamilienhäuser (EFH) ohne Anrechnung des Boilers bei durchschnittlich 13'600 Fr. (mit Subventionen: 10'600 Fr.). Die spezifischen Kosten pro m² Kollektorfläche liegen bei 2'470 Fr. (1'922 Fr.). Bei Warmwasser-Solaranlagen für MFH liegen die spezifischen Kosten bei durchschnittlich 1'690 Fr./m² (1'202 Fr./m²), die absoluten Kosten schwanken stark entsprechend der Anlagengrösse. Der Anteil der Arbeitskosten an den gesamten Investitionskosten liegt bei den EFH bei 50 %. Bei den MFH ist der Anteil mit 41 % kleiner.

In der betrachteten Referenzanlage für solare Warmwasservorwärmung in bestehenden MFH (Erdgas-Solarthermie mit Auslegung gemäss Standardlösung 1 der MuKE 2014 Teil F) betragen die Energieträgervermeidungskosten 13 Rp./kWh (mit Subventionen 10 Rp./kWh). Für das Gesamtsystem Erdgas-Solarthermie ergeben sich Wärmegestehungskosten von 19 Rp./kWh. Diese Wärmegestehungskosten liegen unter denjenigen einer Auslegung der Standardlösung 7 (Kombination Photovoltaik und Wärmepumpe für Warmwasser) gemäss MuKE 2014, welche bei 22 Rp./kWh liegen.

Mit technischen Massnahmen bei der Referenzanlage können die Investitionskosten gesamthaft um 20 % und die Energieträgervermeidungskosten um 25 % reduziert werden. Die Energieträgervermeidungskosten liegen dann bei 9 Rp./kWh und sind damit in der Höhe aktueller Erdgaspreise für Haushalte. Diese maximale Kostenreduktion mit technischen Massnahmen wird mit einem Wasser-Drainback-System mit kubischem Kunststoffspeicher und Kunststoffrohren erreicht. Mit Einbezug weiterer nicht-technischer Reduktionsmassnahmen, welche v.a. durch eine bessere Koordination bei der Installation umgesetzt werden müssten, können die Kosten um insgesamt 35 % (Investition) respektive 39 % (Vermeidungskosten) gesenkt werden.

Résumé

Lors de cette première partie du projet « ReSoTech », les prix actuels détaillés des installations solaires thermiques ont été relevés et des stratégies visant à réduire les coûts de ces systèmes ont été analysées. Les effets de différentes mesures techniques sur les investissements et les coûts d'exploitation durant la durée d'utilisation ont quant à eux été quantifiés sur la base d'une installation solaire thermique de production d'eau chaude pour un immeuble collectif (IC) existant. Pour la seconde partie du projet et en consultation avec un groupe d'accompagnement, les mesures techniques les plus prometteuses ont été sélectionnées. Leurs faisabilités seront démontrées à l'aide d'études conceptuelles et de prototypes.

Selon une étude de marché, le coût d'une installation solaire de production d'eau chaude typique pour une maison familiale (MF) hors prix du boiler est de 13'600 Fr. (avec subvention : 10'600 Fr.). Le coût spécifique par m² de collecteur thermique s'élève alors à 2'470 Fr. (1'922 Fr.). Pour une installation destinée à un IC, ce prix spécifique n'étant en moyenne que de 1'690 Fr./m² (1'202 Fr./m²), l'investissement absolu varie considérablement en fonction de la taille de l'installation. Dans le cadre d'une MF, la proportion des frais de main-d'œuvre représente 50% de l'investissement total. Cette proportion passe à 41% pour un IC.



Dans l'installation de référence considérée, le coût d'évitement (surcoût engendré par l'abandon d'une source d'énergie au profit d'une autre) pour le préchauffage de l'eau sanitaire de l'IC existant (conformément au modèle standard 1 proposé par le MoPEC 2014 partie F) est de 13 ct./kWh (réduit à 10 ct./kWh avec une subvention). Pour le système dans sa totalité (Gaz-Solaire thermique combiné), le coût de la chaleur utile est de 19 ct./kWh. Ce prix est alors inférieur à celui de la solution standard 7 présenté par le MoPEC 2014 (pompe à chaleur couplée à des panneaux photovoltaïques) qui est de 22 ct./kWh.

Avec ces mesures techniques appliquées à l'installation de référence, l'investissement global peut être diminué de 20% et le coût d'évitement peut quant à lui être réduit de 25%. Ce dernier est alors de 9 ct./kWh et est équivalent au prix actuel du gaz naturel pour les ménages. Cette diminution maximale de coût est possible par l'utilisation d'un système de type «drain-back » muni d'un accumulateur cubique en plastique et de tuyaux en plastique. En prenant en compte aussi des mesures de réduction non-techniques supplémentaires, en particulier par la mise en place d'une meilleure coordination lors du montage, les coûts d'investissement et de l'évitement peuvent être réduits respectivement de 35% et de 39%.

Summary

In Part 1 of the project „ReSoTech” current retail prices of solar thermal systems were collected and strategies for reducing the costs of these systems were analysed. The effects of different technological measures for the reduction of investment costs and of the costs during the use phase were quantified. This quantification was exemplarily done for a reference system for solar thermal warm water preparation in existing multifamily houses (MFH). For the planned second project phase, promising technological measures were selected by including the view of an advisory group. The feasibility of these measures will be demonstrated in concept studies and with prototypes.

According to the conducted market survey, the costs of a typical solar thermal warm water system for a single family house (SFH) are at 13'600 Fr. on average (with subsidies: 10'600 Fr.) without taking the storage tank into consideration. The specific costs per m² collector area are around 2'470 Fr (1'922 Fr.). The specific costs for solar thermal systems in MFH are at 1'690 Fr./m² (1'202 Fr./m²). The absolute costs for the systems in MFH scatter largely due to considerable differences of system sizes. The share of the labour costs in the total investment costs is 50 % for SFH and 41 % for MFH.

The costs for substituting fossil energy with the analysed reference system for solar thermal warm water preparation in MFH amounts to 13 ct./kWh (with subsidies: 10 ct./kWh), if the system is sized as solar-gas-system according to the standard solution No. 1 of MuKE n 2014 Part F. For the overall system, the heat generation costs are at 19 ct./kWh which is below the heat generation costs of 22 ct./kWh of standard solution No. 7 (combination of photovoltaic and heat pump).

By means of technical measures, the investment costs of the reference system can be reduced by 20 % and the costs for substituting fossil energy by 25 %. In particular, the costs for fossil energy substitution amount to 9 ct./kWh and hence lie in the range of current prices for natural gas in households. This maximum cost reduction by technical measures can be realized in a water-drainback system with cubic plastic storage tank and plastic piping. By also including non-technical measures of cost reduction, mainly related to a better coordination of the installation procedure, a total reduction of 35 % (investment costs) and 39 % (costs of fossil energy substitution) can be achieved.

Inhalt

Zusammenfassung	3
Résumé	3
Summary	4
1 Ziele und Vorgehen	6
2 Methodik	7
2.1 Datenerhebung.....	7
2.2 Systemsimulationen.....	7
2.3 Wirtschaftlichkeitsberechnungen.....	8
3 Investitionskosten thermischer Solaranlagen für die Warmwassererzeugung	10
3.1 Anlagen für bestehende Einfamilienhäuser	10
3.2 Anlagen für bestehende Mehrfamilienhäuser.....	14
3.3 Referenzanlage für die Herleitung der Kostenreduktionen.....	16
3.3.1 Investitionskosten	17
3.3.2 Betriebskosten (Wartung und Unterhalt).....	19
4 Wärmegestehungskosten und Kostenvergleich	20
4.1 Auslegung der Wärmeerzeuger gemäss MuKE n 2014 Teil F	20
4.2 Simulationen: Annahmen und Lastprofile	20
4.3 Wirtschaftlichkeit des Systems „Gas-Solarthermie“	21
4.4 Vergleich der Wirtschaftlichkeit der Warmwasser-Erzeuger	23
5 Potenziale zur Kostenreduktion	25
5.1 Kostenreduktion durch technologische Massnahmen	25
5.1.1 Einsatz von Kunststoffrohren in der Hydraulik	25
5.1.2 Kollektoren mit Überhitzungsschutz.....	28
5.1.3 Systeme mit Überhitzungsschutz: Drainback.....	29
5.1.4 Kubischer Kunststoffspeicher.....	30
5.2 Kostenreduktion durch organisatorische Massnahmen.....	33
5.3 Übersicht Einzelmassnahmen und resultierende Energieträgervermeidungskosten	35
5.4 Kombinierte Kostenreduktionen	36
5.5 Bewertung der Kostenreduktionen	39
6 Ergebnisse & Empfehlungen für die 2. Projektphase	40
Anhang A: Auszug aus MuKE n 2014 – Standardlösungen Teil F	44
Anhang B: Auslegung der Standardlösung 7	45

1 Ziele und Vorgehen

Mit der vorliegenden Studie werden technologische Massnahmen analysiert, mit denen die Kosten solarthermischer Anlagen reduziert werden können. Neben den Investitionskosten werden alle anlagenspezifischen Kosten während der Nutzungsdauer der Solarwärmeanlagen berücksichtigt. Die Massnahmen zur Kostenreduktion wurden zusammen mit Herstellern und Installateuren erarbeitet, welche in einer Begleitgruppe das Projekt unterstützt haben. Aktuelle Anlagenpreise, auf denen die Kostenanalyse aufbaut, wurden bei den Teilnehmern der Begleitgruppe erhoben. Die vorliegende Studie „ReSoTech – Teil 1: Potenzialanalyse und Lösungsansätze“ dient als Grundlage für die Auswahl technischer Massnahmen zur Kostenreduktion, welche in einem Folgeprojekt weiter entwickelt und demonstriert werden sollen.

Folgende Ziele sollen mit der ersten Projektphase erreicht werden:

- Analyse der Investitions- und Wärmegestehungskosten thermischer Solaranlagen für Warmwassererzeugung und Heizungsunterstützung anhand erhobener Marktpreise.
- Herleitung der Kostenreduktionspotenziale einzelner Komponenten und verschiedener Systemkonzepte, basierend auf einer Referenzanlage aus dem Datensatz.
- Ausarbeitung von Konzepten und Entwicklungen, welche in Projektphase 2 umgesetzt werden können.

Für die Projektphase 1 wurde folgendes Vorgehen gewählt:

1. Datenerhebung der Endkundenpreise thermischer Solaranlagen und Analyse ihrer Kostenstruktur (**Kapitel 3**).
2. Ermittlung energetischer und wirtschaftlicher Kenngrössen für Solarthermie und Vergleich dieser Kenngrössen mit denjenigen eines alternativen Wärmeerzeugungssystems (**Kapitel 4**).
3. Herleitung von Reduktionspotenzialen und Ermittlung der Effekte auf die wirtschaftlichen Kenngrössen (**Kapitel 5**).
4. Vorschlag für Inhalte und Entwicklungsziele für Projektphase 2 (**Kapitel 6**).

Fokus und Einschränkung der Untersuchung:

Im Anschluss an die Analyse der erhobenen Investitionskosten (Kapitel 3) wird im Bericht ausschliesslich eine spezifische Solaranlage für die Trinkwassererzeugung in einem Mehrfamilienhaus (MFH) mit Flachdach betrachtet, wie sie typischerweise bei Ersatz des Wärmeerzeugers installiert wird. Die Fokussierung auf diese Beispiel-Anwendung (solare Warmwassererzeugung in bestehenden MFH) wird vorgenommen, da dieses Marktsegment laut Begleitgruppe für den Schweizer Markt am interessantesten erscheint. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse der Studie auf andere solarthermische Anwendungen ist unter Berücksichtigung der damit einhergehenden veränderten Rahmenbedingungen möglich.

2 Methodik

2.1 Datenerhebung

Bei den fünf im Projekt beteiligten Installationsunternehmen wurden Offerten für Solaranlagen bezogen, welche im Zeitraum Januar 2015 bis Sommer 2016 für ihre Kunden ausgestellt wurden und somit aktuelle Marktpreise widerspiegeln. Die beteiligten Unternehmen sind alle in der Ostschweiz tätig, weswegen nur für diese Region Offerten vorliegen. Die Unternehmen wurden gebeten, sowohl Offerten für Solaranlagen in Einfamilienhäusern als auch in Mehrfamilienhäusern abzugeben, unabhängig davon, ob sie nur Warmwasser generieren oder auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden.

Die Auswertung der Daten wurde ausschliesslich für Solaranlagen für die Warmwassererzeugung vorgenommen und die Endkundenpreisen für schlüsselfertige Anlagen berechnet. Waren in einer Offerte nicht alle erforderlichen Positionen enthalten, so wurden die Kosten für diese Positionen aus durchschnittlichen Werten anderer Offerten berechnet. Diese Kosten betrafen zum Beispiel Gerüst / Absturzsicherung, Kernbohrungen und den elektrischen Anschluss der Solaranlage.

In Kapitel 3 werden alle Kosten aus den Offerten der Solaranlage angerechnet. Würde man die Differenzkosten zu fiktiven, konventionellen Heizungen berechnen, so könnte man, wenn ein Ersatz des Boilers ohnehin ansteht, die Kosten eines kleinen Boilers und die Verrohrung inkl. Arbeit des Sanitärs von den Kosten der Solaranlage abziehen. Da die Ermittlung der Differenzkosten für alle erhobenen Anlagen zu aufwendig wäre, wird dies nur für die Referenzanlage gemacht (Kapitel 3.3.1), die anschliessend für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen und die Kostenreduktionen in den anderen Kapiteln verwendet wird.

2.2 Systemsimulationen

Um die Kosten für die solarthermischen Warmwasseranlagen einordnen zu können, werden für ein solarthermisches Gesamtsystem inkl. Gasbrenner (Kombination Gas-Solar) und ein alternatives Warmwassersystem (Kombination Photovoltaik-Wärmepumpe) die Wärmegestehungskosten ermittelt und verglichen. Dafür müssen neben den Kosten die Energieflüsse bestimmt werden. Die Gesamtsysteme wurden im Simulationsprogramm Polysun (Version 9.09) abgebildet und die Energieflüsse in den Systemen während eines Jahres simuliert.

Als Anlagengrösse wurde ein Warmwassersystem für Mehrfamilienhäuser mit 17 m² Kollektorfläche (15.5 m² Absorberfläche) aus dem erhobenen Datensatz gewählt, welches in etwa dem Durchschnitt der für die MFH erhobenen Daten entspricht. Für den Kostenvergleich mit einer alternativen Heizung wurden die Standardlösungen der MuKE 2014 Teil F herangezogen. Aus den Vorgaben der MuKE und weiteren Angaben aus Statistiken und Richtlinien ergeben sich auch die Grössen der Heizungen und die Verbrauchsprofile (Details siehe Kapitel 4).

Es wird davon ausgegangen, dass die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Massnahmen zur Kostenreduktion von Solarthermieanlagen keinen relevanten Einfluss auf den Solarertrag haben, weswegen von einem gleichbleibenden Solarertrag nach Umsetzung der Massnahmen ausgegangen wird. In die wirtschaftlichen Kenngrössen fliessen somit nur Änderungen bei den Kosten ein.

2.3 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Nettoarwert der Ausgaben und Einnahmen zum Zeitpunkt der Investition

Da die Heizungsanlage, die als Vergleichssystem verwendet wird, spezifische Betriebskosten hat und Einnahmen während der Nutzungsdauer verursacht (Verkauf PV-Strom), werden alle Zahlungen gemäss Kapitalwertmethode auf den Investitionszeitpunkt diskontiert und der Nettoarwert K_{NBW} berechnet (VDI 6002).

Neben den Investitionskosten K_{Invest} werden die Barwerte der Ausgaben für den Betrieb K_{Betr} (Wartung und Unterhalt), für die Verbrauchskosten K_{Verbr} für Antriebsenergie und Brennstoffe und – im Falle von Photovoltaik – für den Verkauf von PV-Strom K_{Prod} berücksichtigt:

$$K_{NBW} = K_{Invest} + K_{Betr} + K_{Verbr} - K_{Prod}$$

Folgende Annahmen werden der Wirtschaftlichkeitsrechnung zugrunde gelegt:

- Da ausschliesslich Warmwasserheizungen verglichen werden, werden von den Investitionskosten diejenigen Kosten abgezogen resp. nicht berücksichtigt, welche bei einem Ersatz der Heizung mit einer konventionellen fossilen Heizung ohnehin entstehen würden. Nicht berücksichtigt werden somit Kosten für einen Warmwasser-Boiler, für den Gasbrenner und Arbeiten zur Montage des konventionellen Anlagenteils.
- Zins 1 % p.a., in Anlehnung an aktuelle Hypothekarzinssätze
- Nutzungsdauern / Betriebskosten:
 - Nutzungsdauer der Heizungskomponenten (inkl. Kollektoren): 30 Jahre
 - Luft-Wasser-Wärmepumpe: Ersatz nach 20 Jahren; Restwert nach 30 Jahren
 - Der Ersatz von kleineren Anlagenkomponenten wird in den Betriebskosten berücksichtigt (Kapitel 3.3.2)
- Energiepreise:
 - Erdgas: 9.3 Rp./kWh (inkl. Grundgebühr)¹
 - Bezug Elektrizität: 20 Rp./kWh (alle Kosten enthalten)²
 - Einspeisevergütung von Photovoltaik-Strom: 8 Rp./kWh³
- Bei den Energieträgern Elektrizität und Erdgas wird von einer jährlichen Preissteigerung von 1 % ausgegangen, entsprechend steigt auch der Erlös aus dem Verkauf von PV-Strom.

Der Zins von 1 % und die Nutzungsdauer von 30 Jahren ergibt einen Annuitätsfaktor a von 0.039.

Der Einfluss variierender Nutzungsdauern, Solarerträge, Investitions- und Betriebskosten auf die Energieträgervermeidungskosten des solarthermischen Anlagenteils wird untersucht (Kapitel 4.3).

¹ Quelle: Energie 360° für Bezug von 16 MWh/a für MFH

² Ungefährer Durchschnittspreis für Bezug von 30 MWh/a für MFH, Quelle: www.strompreis.elcom.admin.ch

³ Einspeisevergütungen grosser EVU liegen heute für Hochtarif zwischen circa 4 und 9 Rp./kWh, insbesondere mit Blick auf die aktuell sinkende Tendenz der Vergütungen sind 8 Rp./kWh als eher hohen Wert einzustufen.

Wärmegestehungskosten

Die Wärmegestehungskosten WGK der betrachteten Gesamtsysteme werden berechnet, indem die jährlichen Kosten (Annuitäten) durch die Nutzwärme Q_n für das Warmwasser (an die Warmwasserverteilung abgegeben) geteilt werden:

$$WGK = \frac{a \cdot K_{NBW}}{Q_n}$$

Die Nutzwärme Q_n wird mit Systemsimulationen ermittelt. Zur Ermittlung der Wärmegestehungskosten des solarthermischen Systems wird in Q_n die solar erzeugte Nutzwärme eingesetzt. Diese wird hergeleitet, indem das System einmal nur mit Gas-Brenner simuliert wird (System 1: Erdgas) und anschliessend zusammen mit der Solarthermieanlage (System 2: Erdgas + Solar). Der Quotient aus vermiedenem fossilen Endenergieverbrauch des Systems mit Solaranlage und dem Endenergieverbrauch der reinen Erdgas-Heizung ergibt den solaren Deckungsgrad. Multipliziert man den solaren Deckungsgrad mit der gesamten Nutzwärme, die an das Gebäude abgegeben wird, ergibt sich die solare Nutzenergie Q_n , die von den Solarkollektoren im System 2 substituiert wird.

Energieträgervermeidungskosten

Mit den Energieträgervermeidungskosten kann aufgezeigt werden, zu welchen Kosten mit der solarthermischen Anlage fossile Energieträger eingespart werden können. Die Kosten entsprechen dem Quotienten aus den Kosten für den solarthermischen Teil des Warmwassererzeugers über die Nutzungsdauer der Anlage und der fossilen Endenergie, die durch den solarthermischen Anlagenteil während dieser Dauer eingespart wird. Dieser Ansatz entspricht der Definition für die „Levelized Cost of Heat“ (LCOH) aus Task 54 des Solar Heating & Cooling Programme der Internationalen Energieagentur⁴.

Beim Vergleich der Energieträgervermeidungskosten der Solarwärme mit den Kosten des Energieträgers, dessen Verbrauch reduziert/vermieden wird, sollten mögliche Preisänderungen des Energieträgers, die während der Nutzungsdauer auftreten können, im Sinne einer Sensitivitätsanalyse beachtet werden.

Subventionen

Bei der Kostenanalyse werden keine Subventionen berücksichtigt, sofern nicht explizit darauf verwiesen wird. Da in der Studie Vorschläge für Kostenreduktionen gefunden werden sollen, würde die Anrechnung von Subventionen die Kosten verfälschen. Um die zu erwartenden Endkundenpreise zu zeigen, werden die Kosten teilweise mit und ohne Subventionen ausgewiesen. Die angerechneten Subventionen entsprechen der Förderung am Standort Rapperswil SG.

⁴ Info-Sheet (in Diskussion, Herbst 2016) zu „Levelized Cost of Heat (LCOH) for Solar Thermal Applications“ des SHC-Task54 „Price Reduction of Solar Thermal Systems“, Solar Heating & Cooling Programme der IEA

3 Investitionskosten thermischer Solaranlagen für die Warmwassererzeugung

Im vorliegenden Kapitel werden die erhobenen Endkundenpreise (inkl. Mehrwertsteuer) für schlüsselfertige thermische Warmwasseranlagen analysiert. Es werden somit auch Kosten für Gewerke berücksichtigt, die von Solarteuren üblicherweise nicht offeriert werden (zum Beispiel Elektroinstallationen oder Kernbohrungen).

Zur Ermittlung der Endkundenpreise thermischer Solaranlagen für Ein- und Mehrfamilienhäuser wurden Offerten von fünf verschiedenen Solarteuren aus der Ostschweiz verwendet. Von den Solarteuren wurden jeweils ca. 10 objektspezifische Offerten respektive Standard-Offerten für Komplettpreisangebote erhoben. Es wurden keine Subventionen berücksichtigt, die von den Kunden möglicherweise beantragt werden könnten.

Die Gesamtkosten jeder Anlage werden in die drei Klassen Material (unterteilt in Kollektor, Speicher und Hydraulik), Arbeit (unterteilt in Solarteur und Dritte) und Weiteres aufgeteilt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Unterteilung der Kosten der für die Analyse der erhobenen Daten.

Kostentyp	Enthaltene Positionen
Material Kollektorfeld	- Kollektoren und Anschlüsse - Dacheinfassung / Unterkonstruktion
Material Speicher	- Speicher - Elektrischer Heizstab
Material Hydraulik	- Hydraulische Komponenten Solarkreis Dach - Hydraulische Komponenten Keller - Sanitärrohre - Wärmeträgerflüssigkeit - Kleinmaterial
Arbeit Solarteur	- Planung - Kollektormontage - Montage Solarkreis Dach - Montage Solarkreis Gebäude - Inbetriebnahme, offerierte Nachkontrollen - Anlagenübergabe
Arbeit Dritte	- Arbeitssicherheit (Gerüst etc.) - Kernbohrungen - Elektrische Installationen - Sanitäranschluss
Weiteres	- Transport und Versicherung - Allgemeine Baustellenkosten

3.1 Anlagen für bestehende Einfamilienhäuser

Durchschnittliche Endkundenpreise

Die Kosten und Dimensionierung einer durchschnittlichen Solaranlage zur Warmwasserbereitstellung für ein Einfamilienhaus wurden mittels sieben Offerten von vier verschiedenen Solarteuren ermittelt.

Tabelle 2: Durchschnittliche Anlagenkenndaten und Kosten der thermischen Solaranlagen für bestehende Einfamilienhäuser (N = 7, Standardabweichung in Klammern).

Grösse Kollektorfeld	5.5 m ² (± 1 m ²)
Volumen Speicher	520 Liter (± 40 Liter)
Gesamtkosten	16'723 Fr. (± 1'674 Fr.)
Gesamtkosten ohne Boiler	13'571 Fr.
Spezifische Gesamtkosten ohne Boiler	2'467 Fr./m ²
Gesamtkosten ohne Boiler und mit Subventionen*)	10'571 Fr.
Spez. Gesamtkosten ohne Boiler, mit Subventionen*)	1'922 Fr./m ²

*) Beispiel: Subvention 3'000 Fr. am Standort Rapperswil SG

Werden die durchschnittlichen Gesamtkosten in die Material- und Arbeitskategorien gemäss Tabelle 1 unterteilt, ergibt sich folgende Kostenaufstellung.

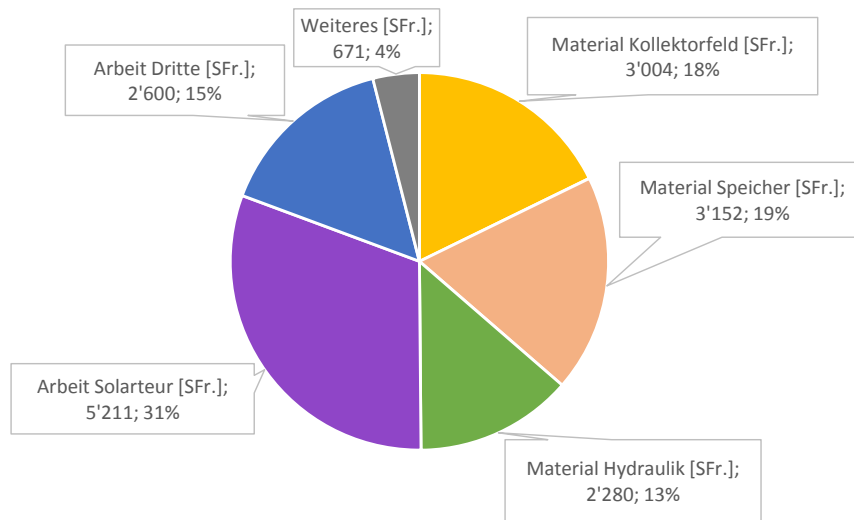


Abbildung 1: Zusammensetzung der durchschnittlichen Gesamtkosten einer thermischen Solaranlage zur Warmwasserbereitung für bestehende Einfamilienhäuser (total: 16'918 Fr.).

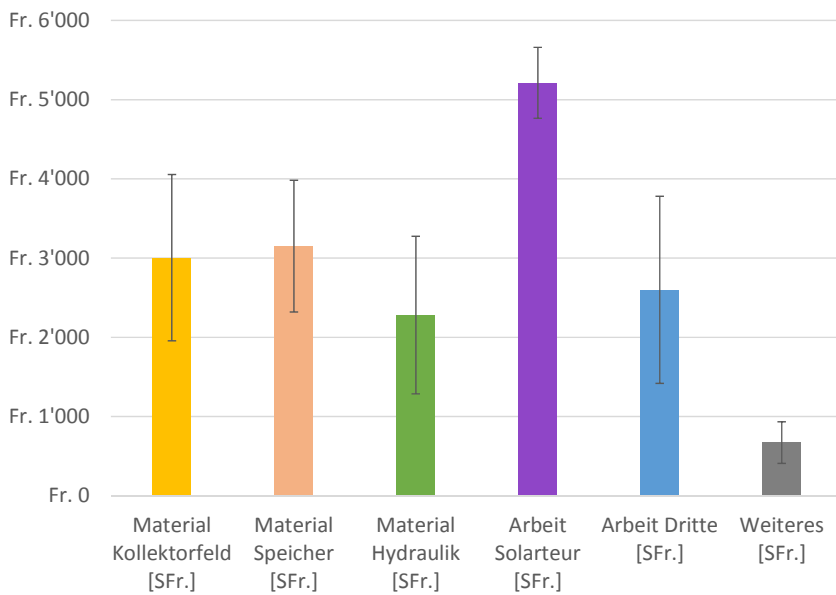


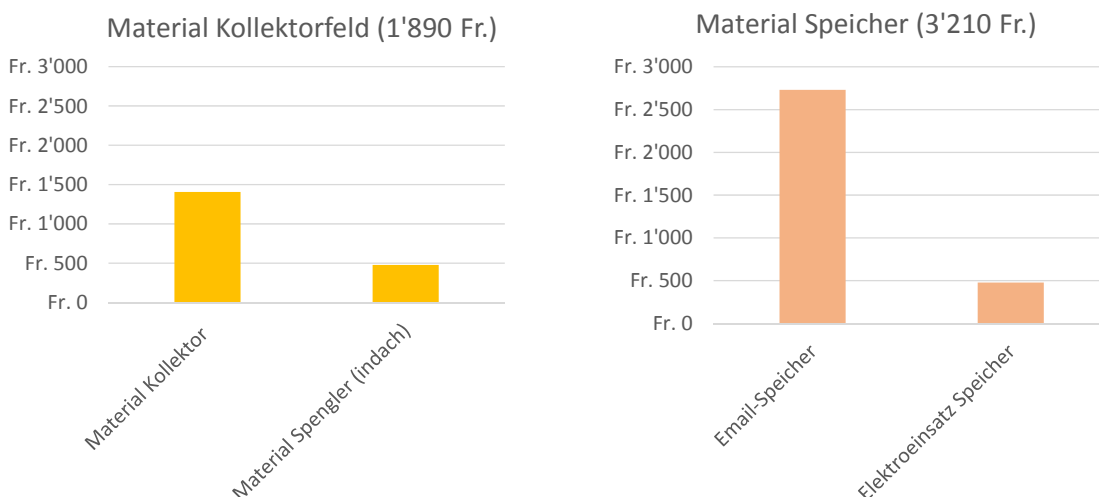
Abbildung 2: Durchschnittliche Gesamtkosten inkl. Standardabweichung in den jeweiligen Kategorien der ausgewerteten sieben Offerten.

In Abbildung 2 weist die Kategorie „Arbeit Dritte“ die grösste Standardabweichung auf. Diese Abweichung beruht hauptsächlich auf Kostenunterschieden bei Gerüst/Arbeitssicherheit in den analysierten Offerten. Generell zeigt sich eine starke Streuung pro Kostengruppe bis auf „Arbeit Solarteuer“.

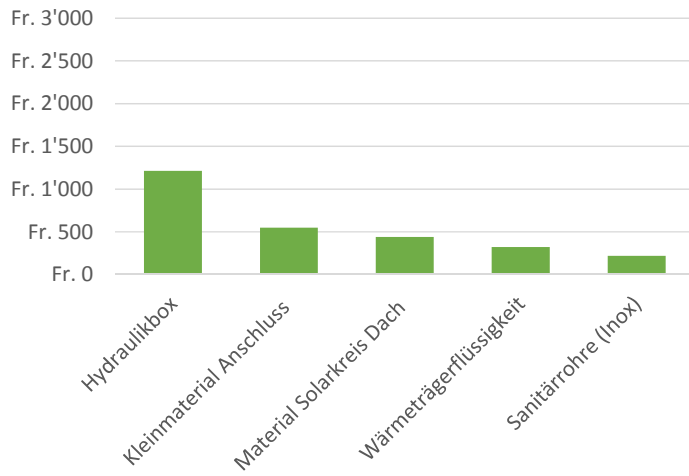
Detailanalyse einer typischen solaren Warmwasseranlage für bestehende Einfamilienhäuser

Für die Detailanalyse der Kostenaufstellung wird eine Offerte ausgewählt, die zu den durchschnittlichen Anlagenkenndaten in Tabelle 2 passt. Diese Referenzanlage verfügt über ein 5 m² Kollektorfeld und einen emaillierten Warmwasserspeicher mit 500 Liter Volumen und Elektroeinsatz. Die Gesamtkosten der Anlage von 16'872 Fr. sowie spezifische Kosten von 3'374 Fr. weisen eine geringe Abweichung von den in Tabelle 2 ermittelten Durchschnittskosten auf. Die Gesamtkosten setzen sich aus den in Abbildung 3 aufgelisteten Material- und Arbeitskosten zusammen.

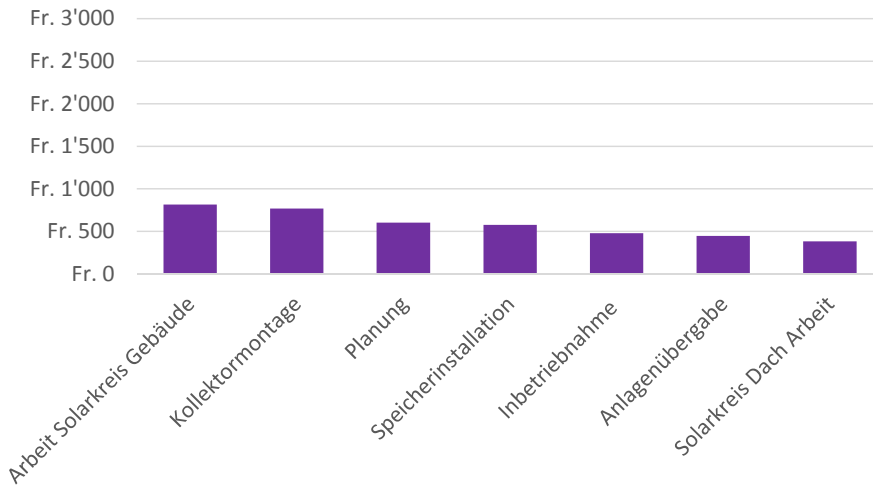
Abbildung 3: Detaillierte Kostenaufstellung einer typischen Solarwärmanlage zur Warmwasserbereitstellung in bestehenden Einfamilienhäusern.



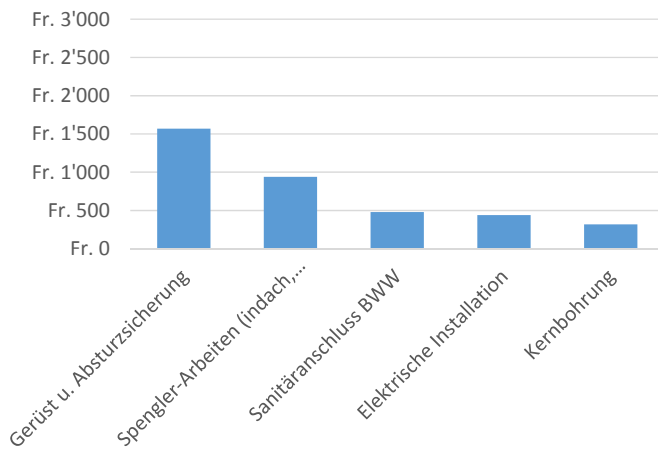
Material Hydraulik (2'750 Fr.)



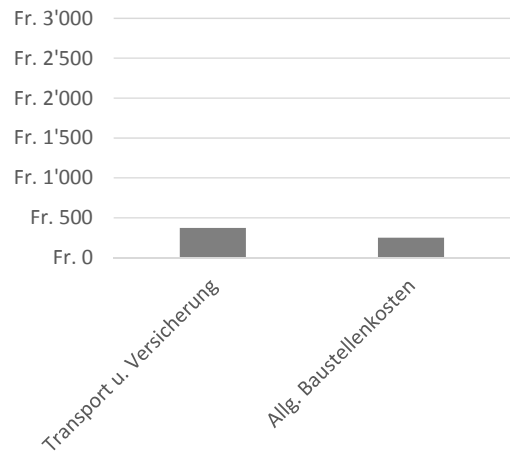
Arbeit Solarteur (4'070 Fr.)



Arbeit Dritte (3'750 Fr.)



Weiteres (620 Fr.)



3.2 Anlagen für bestehende Mehrfamilienhäuser

Durchschnittliche Endkundenpreise

Die Kosten und Dimensionierung einer durchschnittlichen Solaranlage zur Warmwasserbereitstellung für ein Mehrfamilienhaus wurden aufgrund von acht Offerten von drei verschiedenen Solarteuren ermittelt.

Tabelle 3: Durchschnittliche Anlagenkenndaten und Kosten der thermischen Solaranlagen für bestehende Mehrfamilienhäuser (N = 8, Standardabweichung in Klammern).

Grösse Kollektorfeld	11.6 m ² (± 4 m ²)
Volumen Speicher	990 Liter (± 310 L)
Gesamtkosten	24'786 Fr. (± 3'556 Fr.)
Gesamtkosten ohne Boiler	19'545 Fr.
Spezifische Gesamtkosten ohne Boiler	1'685 Fr./m ²
Gesamtkosten ohne Boiler und mit Subventionen *)	13'945 Fr.
Spez. Gesamtkosten ohne Boiler, mit Subventionen *)	1'202 Fr./m ²

*) Beispiel: Subvention 5'600 Fr. am Standort Rapperswil SG

Werden die durchschnittlichen Gesamtkosten in die unterschiedlichen Material- und Arbeitskategorien unterteilt, ergibt sich folgende Kostenaufstellung. Dabei zeigt sich, dass der Anteil der Materialkosten an den Gesamtkosten im Vergleich zu den Einfamilienhäusern grösser ist.

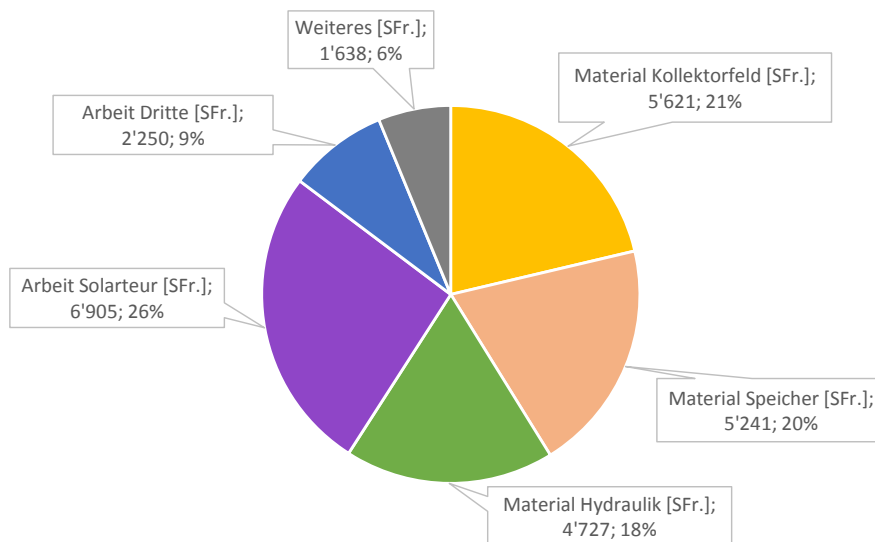


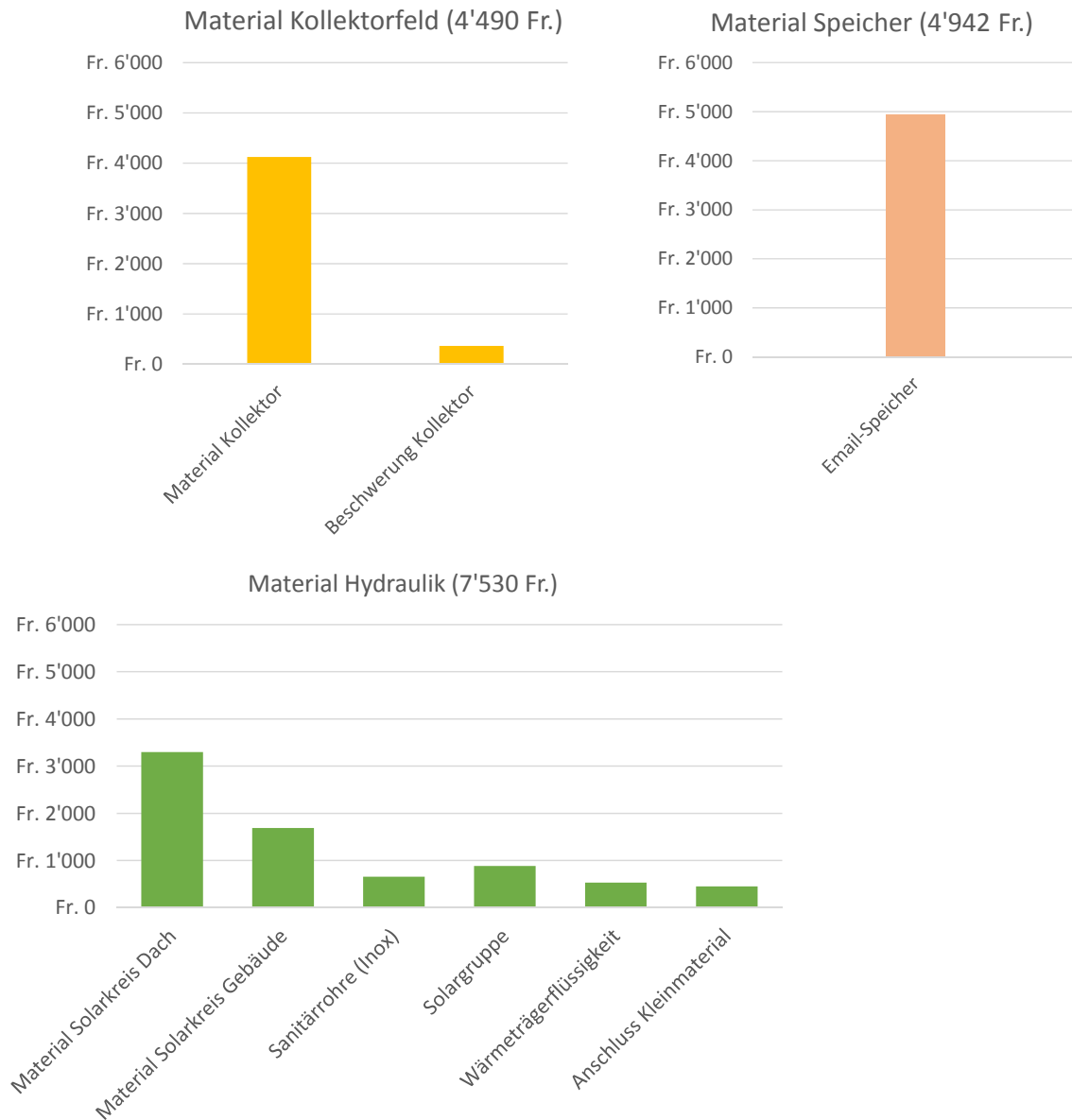
Abbildung 4: Zusammensetzung der durchschnittlichen Gesamtkosten der thermischen Solaranlagen zur Warmwasserbereitstellung für bestehende Mehrfamilienhäuser (total: 26'383 Fr.).

Detailanalyse einer typischen solaren Warmwasseranlage für bestehende Mehrfamilienhäuser

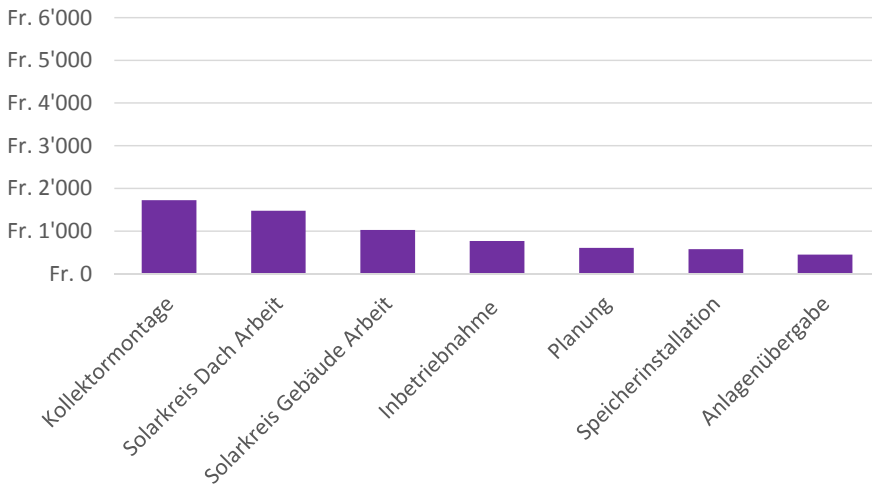
Aufgrund der grossen Varianz bei den durchschnittlichen Anlagenkenndaten wurde eine Anlage als typische Offerte gewählt, die ähnliche spezifische Kosten bezogen auf die Kollektorfläche aufweist, wie in Tabelle 3 für den Durchschnitt angegeben. Die Anlage verfügt über ein 17 m² Kollektorfeld (15.5 m² Absorberfläche) und zwei emaillierten 750 Liter-Warmwasserspeicher. Die Gesamtkosten der Anlage

betragen 30'134 Fr. mit spezifischen Kosten von 2'009 Fr. pro m² Kollektor. Die Gesamtkosten setzen sich aus den in Abbildung 5 aufgelisteten Material- und Arbeitskosten zusammen.

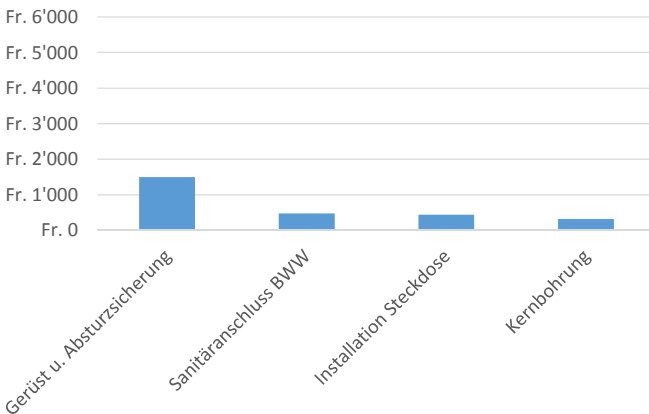
Abbildung 5: Detaillierte Kostenaufstellung einer typischen Solarwärmanlage zur Warmwasserbereitstellung für bestehende Mehrfamilienhäuser.



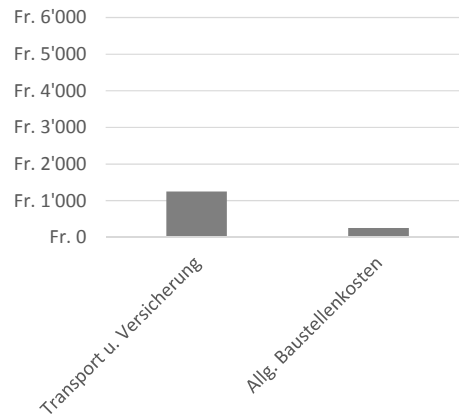
Arbeit Solarteur (6'620 Fr.)



Arbeit Dritte (2'740 Fr.)



Weiteres (1'500 Fr.)



3.3 Referenzanlage für die Herleitung der Kostenreduktionen

Es wurde eine Referenzanlage mit 17 m² Kollektorfeld (15.5 m² Absorberfläche) und zwei emaillierten 750 Liter-Warmwasserspeichern für ein Mehrfamilienhaus definiert (Abbildung 6), die als Grundlage für die Herleitung von Kostenreduktionen verwendet wird. Aus diesem Grund werden hier die entsprechenden Investitionskosten detailliert aufgeführt (Kapitel 3.3.1). Die Referenzanlage basiert auf der Beispielanlage aus Kapitel 3.2, wobei aufgrund von Rückmeldungen der Begleitgruppe die Kosten für die Hydraulik leicht reduziert wurden und ausserdem die Kosten für den konventionellen Anlagenteil (einer der zwei Boiler) abgezogen wurden. In Kapitel 3.3.2 ist eine Schätzung der Betriebskosten der Referenzanlage aufgeführt.

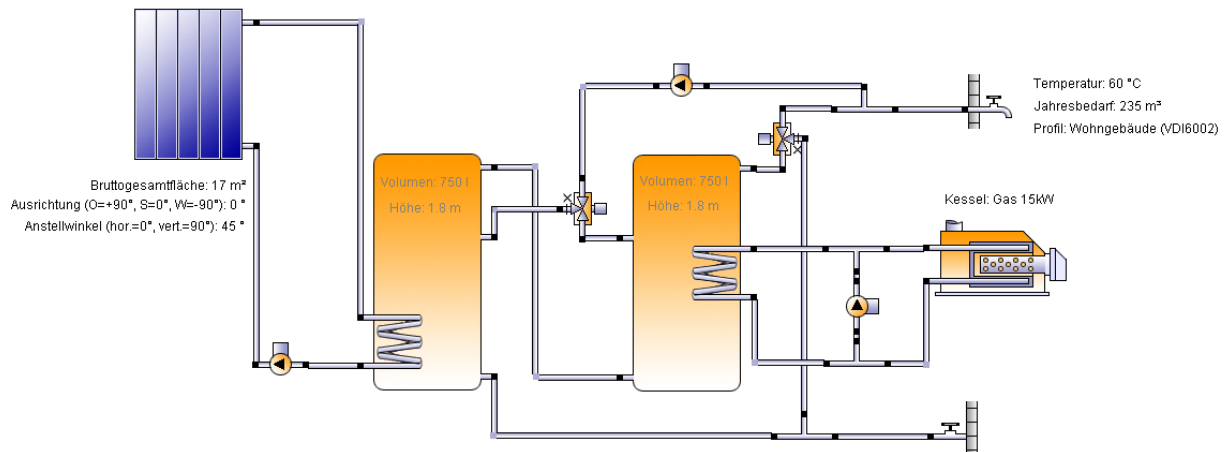


Abbildung 6: Vereinfachtes Hydraulikschema der Referenzanlage, welche für die Abschätzung der Kostenreduktionen verwendet wird. Die Kosten des rechten Boilers, des Gaskessels und der für eine rein fossile Anlage benötigten Hydraulik werden nicht angerechnet (nicht Teil des Referenzsystems).

3.3.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten der Referenzanlage mit 17 m² Kollektorfeld belaufen sich ohne fossilem Anlagenteil und ohne Subventionen auf 24'613 Fr. (Tabelle 4). Am Standort Rapperswil könnten für die betrachtete Anlagengrösse 5'600 Fr. Subventionsbeitrag auf die Investitionskosten beantragt werden, was Investitionskosten inkl. Subventionen von 19'013 Fr. ergibt. In den weiteren Betrachtungen werden die Kosten ohne Subventionen betrachtet.

Tabelle 4: Kosten der Referenzanlage für die solarthermische Warmwasserbereitung in Mehrfamilienhäusern (inkl. MwSt.).

Position (Arbeit kursiv)	Anzahl	Stückpreis/Einheit	Kosten (Fr.)
PLANUNG			650
KOLLEKTORFELD			6'727
Kollektoren	6	689 Fr./Stk.	4131
Kollektorzubehörset	1		246
Kollektor-Befestigungsset	6	12.5 Fr./Stk.	75
Beschwerung und Bauschutzmatte	1		396
Grundmontage Kollektor	1		622
Montage Konsolen u. Befestigung	1		621
Kollektormontage	1		621
T-Fühler	1		14
SPEICHER			3'291
Warmwasserspeicher 750 Liter	2	2669 Fr./Stk.	2669 *)
Installation Solarkreislauf (im Keller inkl. Speicheranschluss)	1		622
SOLARKREIS Dach			3'871
Solarflexrohre	25m	31 Fr./m	779
Schutz-/Fallrohr	15 m	83 Fr./m	1245
Zubehör Solarleitung	1 Stk.		80
Taco-Setter Bypass	3 Stk.	135 Fr./Stk.	406
Anschluss Solarrohr an eine Kollektorreihe	3 Stk.	71 Fr./Stk.	214
Installation von Koll. bis Dachdurchführung	15 m	41 Fr./m	621
Installation Dachdurchführung bis Keller	15 m	9 Fr./m	136
Installation Schutzrohr an Fassade	15 m	26 Fr./m	390
SOLARKREIS Gebäude			4'868
C-Stahlrohre	10 m	44 Fr./m	439
Sanitärinox-Rohre	6 m	118 Fr./m	713
Expansionsgefäss	100 Liter		255
Tauchhülsen	4 Stk.	15 Fr./Stk.	61
Durchflussmesser	1 Stk.		129
Solargruppe	1 Stk.		960
Wärmeträgerflüssigkeit	100 Liter	5.79 Fr./Liter	579
Anschluss Kleinmaterial	Pauschal		491
Thermomischer inkl. Zirkulationsanschluss	1 Stk.		227
Zirkulationsrücklauf-Umschaltung	1 Stk.		200
Installation Keller bis Solarladestation	10 m	15 Fr./m	150
Isolation Keller bis Ladestation	10 m	42 Fr./m	414
Isolation der wärmeleitenden Rohre	6 m	42 Fr./m	249
WEITERES			5'207
Datalogger	1		223
Inbetriebnahme			829
Transport u. Versicherung			1350
Gerüst u. Absturzsicherung			1500
Elektrische Installation			207
Kernbohrung	1		345
Anlagen Übergabe			483
Allgemeine Baustellenkosten			270
Sanitäranschluss BWW		518 Fr.	- **)
INVESTITIONSKOSTEN			24'613

*) einer der Speicher wird dem fossilem Anlagenteil zugerechnet

**) dem fossilem Anlagenteil zugerechnet

3.3.2 Betriebskosten (Wartung und Unterhalt)

Es wird angenommen, dass nach jeweils 12 Betriebsjahren ein Glykolwechsel vorgenommen werden muss. Mit einer Nutzungsdauer von 30 Jahren ergeben sich folglich zwei Glykolwechsel. Zusätzlich wird von pauschalen Aufwendungen von 300 Fr. alle 5 Jahre für kleinere Unterhaltsarbeiten ausgegangen. Mit diesen Annahmen erreicht der Barwert der Betriebskosten 3'654 Fr. – siehe Tabelle 5.

Tabelle 5: Barwert der Betriebskosten der Referenzanlage

Position	Annahmen	Kosten (Fr.)	Barwert (Fr.)
Glykolwechsel	2 Stück:		2'359
	2 Personen à 3 Stunden plus 1 Stunde Anfahrt	829 Fr.	
	Wärmeträgerflüssigkeit	579 Fr.	
Sonstiges	300 Fr. alle 5 Jahre		1'295
Gesamt			3'654

4 Wärmegestehungskosten und Kostenvergleich

Gemäss Einschätzung der Begleitgruppe liegen das grösste Marktpotenzial und die beste Konkurrenzfähigkeit der Solarthermie bei Warmwasseranlagen in bestehenden Mehrfamilienhäusern. Deshalb wird in der vorliegenden Untersuchung auf diese Anwendung fokussiert. Bei üblichen Kollektorfeld- und Speichergrössen muss das solarthermische System mit einem weiteren Wärmeerzeuger kombiniert werden. In bestehenden Mehrfamilienhäusern ist die Kombination mit einem Gasbrenner üblich, weswegen für die Abschätzung der Wärmegestehungskosten dieses Gesamtsystem „Gas-Solarthermie“ betrachtet wird.

Um die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems „Gas-Solarthermie“ einordnen zu können, werden die Wärmegestehungskosten mit einem weiteren System zur Nachrüstung der Warmwassererzeugung in bestehenden Mehrfamilienhäusern verglichen. Zudem werden für den solarthermischen Anlagenteil die Energieträgervermeidungskosten berechnet, welche angeben, zu welchen Kosten der fossile Energieträger vermieden/substituiert werden kann.

4.1 Auslegung der Wärmeerzeuger gemäss MuKEn 2014 Teil F

Eine in Zukunft häufig zu erwartende Entscheidungssituation wird mit Umsetzung der MuKEn 2014 in den kantonalen Energiegesetzgebungen für Besitzer von Gebäuden mit hohem spezifischen Energiebedarf entstehen, wenn die Wärmeerzeugungsanlage ersetzt werden muss. Für Gebäude, die schlechter als die GEAK-Energieeffizienzklasse D eingestuft werden, müssen bei Ersatz des Wärmeerzeugers gemäss MuKEn Teil F Massnahmen im Bereich erneuerbare Energien oder Energieeffizienz umgesetzt werden. Die MuKEn sehen hier 12 vordefinierte Standardlösungen (SL) vor, aus denen ausgewählt werden kann (siehe Anhang B: MuKEn 2014 Teil F, „Erneuerbare Wärme beim Wärmeerzeugersersatz“).

Eine der Standardlösungen ist der Einsatz thermischer Sonnenkollektoren zur Warmwassererzeugung mit einer Kollektorfläche die minimal 2% der Energiebezugsfläche des Gebäudes entspricht. Ist der Einsatz von Sonnenkollektoren eine der wirtschaftlich vorteilhaften Standardlösungen, werden sich in Zukunft voraussichtlich viele Hausbesitzer für diese Variante entscheiden.

Zum Vergleich der Wärmegestehungskosten der Kombination Gas-Solarthermie wird als Alternative die Standardlösung 7 aus den MuKEn 2014 Teil F gewählt: „Warmwasserwärmepumpe mit Photovoltaikanlage (Wärmepumpenboiler)“. Es wird davon ausgegangen, dass diese am ehesten von Endkunden alternativ zu Solarwärmeanlagen in Betracht gezogen wird. In Mehrfamilienhäusern können auf Grund des hohen Leistungsbedarfs bei der Warmwassererzeugung allerdings keine der heute verfügbaren Wärmepumpen-Boiler verwendet werden. Stattdessen wird die Installation einer WP-Ausseneinheit in Kombination mit einem Speicher betrachtet.

4.2 Simulationen: Annahmen und Lastprofile

Aus den Vorgaben, die die MuKEn zur Standardlösung 1 „Thermische Sonnenkollektoren für die Wassererwärmung“ macht, und der Kollektorfeldgrösse der ausgewählten Referenzanlage von 17 m², kann das Warmwasserzapfprofil des Mehrfamilienhauses abgeleitet werden.

Warmwasser-Zapfprofil:

- Mit der Vorgabe, dass 2% Kollektorfläche pro m² Energiebezugsfläche in SL1 eingesetzt werden müssen, und der Betrachtung einer Anlage mit 17 m² Kollektorfläche, ergeben sich 850 m² Energiebezugsfläche (EBF).

- Da der MuKE-Teil F für ältere Mehrfamilienhäuser mit einer GEAK-Energieetikette kleiner G gelten werden, wird hier von kleinen Wohnungen mit 85 m² EBF ausgegangen, womit sich mit den 850 m² EBF ein Mehrfamilienhaus mit 10 Wohneinheiten ergibt.
- Setzt man eine Belegungsdichte pro Wohnung von 2.3 Personen (gemäss Bundesamt für Statistik⁵) zugrunde, leben im Gebäude 23 Personen.
- Mit einem Warmwasserkonsum von 28 Litern pro Person und Tag bei 60 °C (gemäss VDI 6002 für MFH) ergeben sich als täglicher Warmwasserkonsum der 23 Personen 644 Liter Warmwasser auf 60 °C.
- Für das Zapfprofil wird eine zeitliche Verteilung verwendet, wie in VDI 6002 für grosse MFH vorgeschlagen (als Vorlage in Polysun eingebunden).
- Die Warmwasserverteilung wird mit einer Zirkulationsleitung simuliert, deren Verluste auf 40 % des Warmwasserverbrauchs gemäss Zapfprofil eingestellt werden (28% des Totalbedarfs).

Für die Simulationen werden Klimadaten vom Standort Rapperswil SG verwendet.

4.3 Wirtschaftlichkeit des Systems „Gas-Solarthermie“

Die Referenzanlage aus Kapitel 3.3 wurde mit einem Kollektorfeld mit 17 m² Bruttofläche (Absorber 15.5 m²) und einem modulierenden Gaskessel mit 15 kW Leistung abgebildet. Als simulationstechnische Vereinfachung wurde die Solaranlage mit einem 1'500 Liter- statt mit zwei 750-Liter-Speichern simuliert.

Kollektorfeld	
Bruttogesamtfläche	17 m ²
Ausrichtung	Süd
Anstellwinkel	45°

Gaskessel (modulierend)	
Leistung	15 kW
Min. Leistung	5 kW
Wirkungsgrad	90%

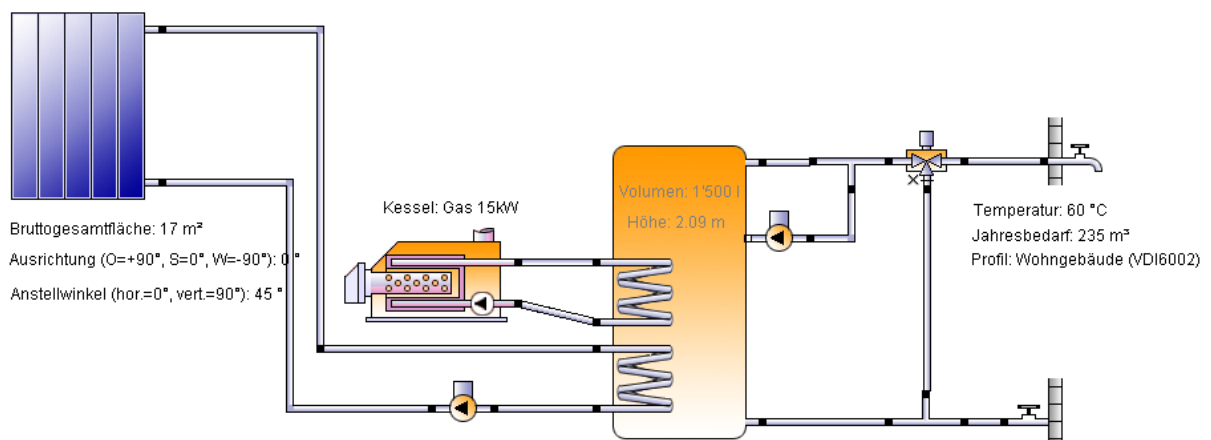


Abbildung 7: Referenzsystem als Standardlösung 1 gemäss MuKE 2014 (thermische Solaranlage mit fossilem Brenner).

⁵ Quelle: BFS, <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/09/01/key.html>

Die Simulation zur Warmwasserbereitstellung für das definierte Mehrfamilienhaus mit 10 Wohnungen und 23 Bewohnern ergibt die in der nachstehenden Tabelle aufgelisteten Erträge und Verbräuche.

Tabelle 6: Ergebnisse der Systemsimulation und der Kostenrechnung der Standardlösung 1 (solare Referenzanlage + Gasbrenner) für den Standort Rapperswil.

Jahressimulation:	
Solarer Deckungsgrad	35%
Solarenergie an Speicher	8'009 kWh
Energie Gaskessel an Speicher	12'847 kWh
Gasverbrauch	16'353 kWh
Wärmeentnahme Zapfstellen	14'734 kWh
Gaseinsparung durch Einbindung Solarenergie	8'727 kWh
ohne und (mit) Subventionen*):	
Energieträgervermeidungskosten	0.13 Fr./kWh (0.10)
Wärmegestehungskosten (System Gas-Solar)	0.19 Fr./kWh (0.18)

*) Subventionen für Solarthermie am Standort Rapperswil: 5'600 Fr.

Die Abhängigkeit der Energieträgervermeidungskosten der Solaranlage von der Höhe des Solarertrags (ab Kollektor), der Nutzungsdauer der Anlage, der Betriebskosten und der Investitionskosten ist in Abbildung 8 wiedergegeben.

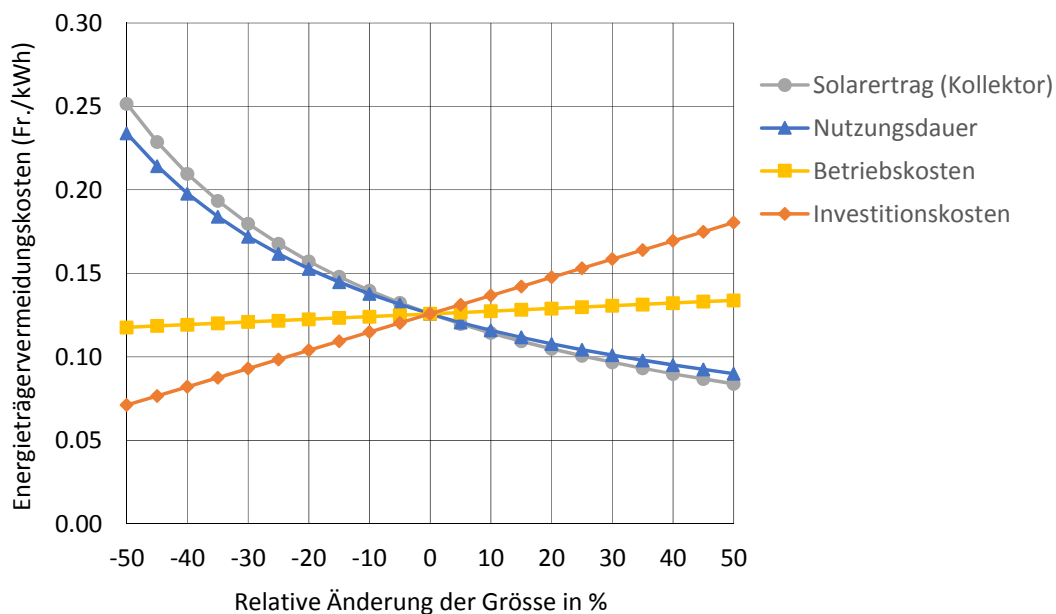


Abbildung 8: Änderung der Energieträgervermeidungskosten bei Variation wichtiger Einflussfaktoren.

Gemäss Abbildung 8 führt eine Zunahme der Nutzungsdauer und auch des Solarertrags zu einer ähnlich hohen Kostensenkung wie eine Reduktion der Investitionskosten. Der Verlauf der Kurven zeigt, dass die angestrebten Kostenreduktionen nicht zu einer Verringerung der Nutzungsdauer oder des Solarertrags führen sollten, da durch eine Verringerung Einsparungen bei der Investition schnell wettgemacht werden könnten.

4.4 Vergleich der Wirtschaftlichkeit der Warmwasser-Erzeuger

Als Vergleich zur Standardlösung 1 (Gas mit Solarthermie) wird die Standardlösung 7 der MuKEn 2014 Teil F verwendet, mit einem Wärmepumpenboiler und einer Photovoltaikanlage mit 5 W_p pro m^2 Energiebezugsfläche. Mit den 850 m^2 EBF des betrachteten Mehrfamilienhauses, verfügt die Photovoltaikanlage entsprechend der Vorgaben der MuKEn 2014 über eine Leistung von 4.3 kW_p (Fläche ca. 24 m^2). In der Jahressimulation und den Kostenrechnungen wurde statt einem Wärmepumpenboiler eine aussenstehende Luft-Wasser-Wärmepumpe (10 kW thermische Leistung) und ein 700 Liter-Boiler verwendet, da kein Wärmepumpenboiler mit ausreichender Leistung auf dem Markt verfügbar ist. Für die Kosten des Systems und weitere Annahmen siehe Anhang B.

PV-Anlage		Wärmepumpe	
Nennleistung PV	4.3 kW_p	Heizleistung A2/W35	10 kW
Ausrichtung	Süd	COP	3.1
Anstellwinkel	45°	Wärmequelle	Aussenluft

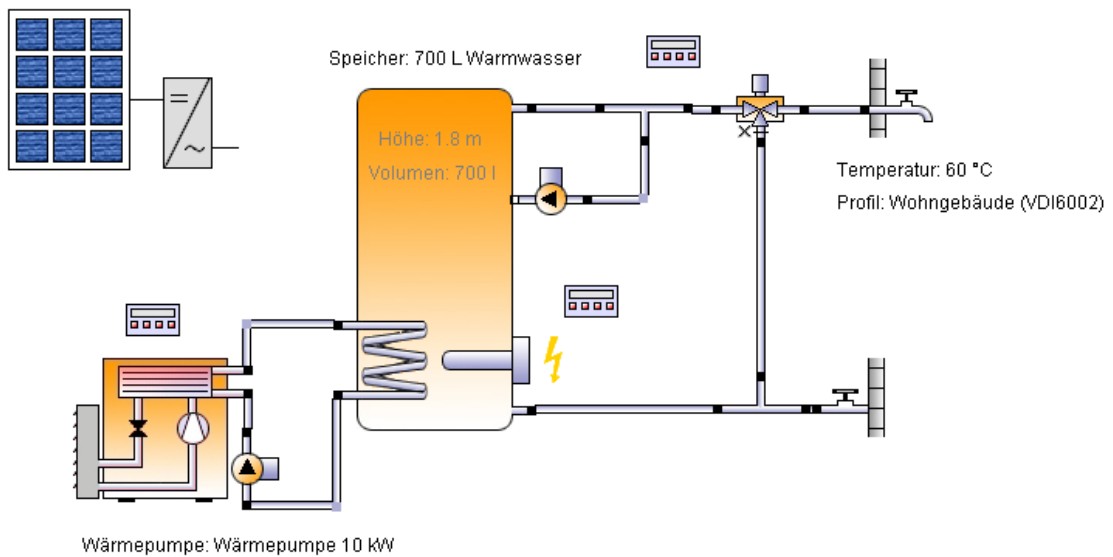


Abbildung 9: Untersuchte Variante von Standardlösung 7 (PV-WP-Boiler) gemäss MuKEn 2014.

Tabelle 7: Ergebnisse der Systemsimulation und der Kostenrechnung der Standardlösung 7 (PV-WP-Boiler) für den Standort Rapperswil.

Jahressimulation:	
PV Ertrag	4'427 kWh
Stromverbrauch Wärmepumpe	6'273 kWh
Stromverbrauch Heizstab	2'243 kWh
Wärmeentnahme aus Speicher	14'151 kWh
System-JAZ	1.65
Wärmegestehungskosten	0.22 Fr./kWh (mit Subventionen 0.21 Fr./kWh)

Der Vergleich der Wärmegestehungskosten der beiden Standardlösungen SL1 (Gas+Solarthermie, Kapitel 4.3) und SL7 (Photovoltaik & Wärmepumpe) für das Mehrfamilienhaus mit ca. 14 MWh/a Warmwasserbedarf zeigt, dass mit der solarthermischen Variante die Nutzwärme um 3 Rappen pro kWh resp. 14 % günstiger erzeugt werden kann. Es ist zu beachten, dass bei der solarthermischen Variante SL1 die Investitionskosten für den Gas-Brenner nicht eingerechnet sind, sondern der Heizung angerechnet werden (da im untersuchten Gebäude die Raumwärme der dominante Wärmebezügler ist).

Da die Kostenschätzungen mit Unsicherheiten behaftet sind und die Investitionskosten der hier untersuchten PV-WP-Variante möglicherweise in Zukunft von Anbietern deutlich gesenkt werden können (z.B. durch Angebot eines Kompaktgeräts), sollten die Kosten der Thermie-Lösung dennoch reduziert werden.

5 Potenziale zur Kostenreduktion

5.1 Kostenreduktion durch technologische Massnahmen

5.1.1 Einsatz von Kunststoffrohren in der Hydraulik

Mit einigen der später behandelten Massnahmen soll eine Temperaturbegrenzung in den Solarleitungen erreicht werden, was den Einsatz von günstigen Kunststoff-Rohrleitungen ermöglicht. Deswegen wird vorgängig die Kostenreduktion durch Einsatz von Kunststoffleitungssystemen aus dem Heizungsbereich abgeschätzt. Die Abschätzungen gelten sowohl für Kunststoff-Metall-Verbundrohre als auch für reine Kunststoffrohre, wobei die letzteren geringfügig günstiger sind (ca. 5 % bei vorisolierten Rohren).

Kunststoff-Metall-Verbundrohre, wie sie für Fussbodenheizungen verwendet werden, haben typischerweise folgende Eigenschaften:

- Einsatzbereich max. 95 °C, kurzzeitige Störfalltemperatur 110 °C
- Dauertemperatur 70 °C über 50 Jahre
- Maximaldruck 10 bar
- Press-Fittings oder Klemmverschraubungen können eingesetzt werden

Als Isolationsmaterial für die vorisolierten Kunststoffrohre wird z.B. Polyethylen-Schaum eingesetzt. Von folgenden Eigenschaften der Isolation kann typischerweise ausgegangen werden:

- PE-Schaum (0,040 W/mK, 4-fach höhere Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl als EPDM)
- Äussere Schutzhülle aus Kunststofffolie, Folie ohne UV-Schutz
- Maximaltemperatur 95 °C

In den folgenden Tabellen sind Kostenbeispiele von vorisolierten Kunststoffrohren für verschiedene Durchmesser sowie ein Vergleich mit standardmässig verwendeten, vorisolierten Solarleitungen aus Edelstahl-Wellrohren für DN20 und 25 Meter Länge aufgeführt.

Es zeigt sich, dass besonders im Vergleich mit Durchschnittspreisen aus der Datenerhebung grosse Einsparungen bei Verwendung von Kunststoffrohren erzielt werden können. Das Ausmass der Kostenreduktion beim Materialpreis ist von der Begleitgruppe unterschiedlich bewertet worden. Die hier im Weiteren verwendeten Reduktionen werden wohl nicht von allen Installateuren in dem Masse in den Offerten umgesetzt werden. Mit der Höhe der Reduktionen, welche auf einer Kostenrechnung eines Installationsbetriebs beruht, kann das Kostensenkungspotenzial aufgezeigt werden, das mit Verwendung von Kunststoffrohren maximal erreicht werden kann.

Tabelle 8: Beispielkosten für einzelne, vorisolierte Kunststoff-Metallverbundrohre (Isolation mit Schutzmantel, ohne Fühlerkabel). Für Vor- und Rücklauf müssen 2 Rohre eingesetzt werden:

Rohrdurchmesser und Wandstärke	Dämmstärke	Listenpreise (inkl. MwSt.)
16 x 2.0mm	9 mm	5.18 Fr./m
	13 mm	5.40 Fr./m
20 x 2.0mm	13 mm	6.80 Fr./m
	20 mm	7.34 Fr./m

Tabelle 9: Herleitung der Materialkosten für ein vorisoliertes Kunststoffrohr mit Übergangsstücken und Vergleich mit vorisolierter Inox-Solarleitung. Für 25 m mit DN 20, Listenpreise inkl. MwSt.

Herleitung Kosten für Kunststoff-Metall-Verbundrohr:	
2 Leitungen, 20 mm Wärmedämmung, mit Schutzhülle	14.7 Fr./m
Fühlerkabel	0.75 Fr./m
	15.4 Fr./m inkl. Kabel
4 Übergangsstücke Pressfitting 20/2 mit 3/4"	23 Fr.
Vergleich mit durchschnittlichen Kosten aus den Offerten	
Solarflexrohr (Inox)	31 Fr./m
Fittings	80 Fr.
Kostenreduktion bei 25 m Keller <-> Dach:	
Solarflexrohr (Inox) inkl. Fittings	855 Fr.
Kunststoff-Metall-Verbundrohr inkl. Fittings	408 Fr.
	447 Fr. Einsparung (entspricht -52%)

Die Kostenreduktion, die mit Einsatz von Kunststoffrohren im analysierten Referenzsystem erreicht werden kann, ist in Tabelle 10 abgeschätzt. Neben Einsparungen bei Rohren und Fittings ist zu erwarten, dass mit Kunststoffrohren auch eine relevante Reduktion des Arbeitsaufwands bei der Installation des Solarkreises erreicht werden kann.

Tabelle 10: Kostenreduktion durch Einsatz vorisolierter Kunststoffrohre (Voraussetzung: <100 °C in den Rohrleitungen durch Kollektoren mit Überhitzungsschutz oder Drainback-Systeme siehe Kapitel 5.1.2 und 5.1.3).

Position (Arbeit kursiv)	Kosten aus Offerte (Fr.)	Reduktion durch vorisierte Kunststoffrohre	Bemerkung
PLANUNG	650		Keine Reduktionen
KOLLEKTORFELD	6'727		Keine Reduktionen
SPEICHER	3'291		Keine Reduktionen
SOLARKREIS Dach	3'871		
Solarflexrohre	779	-393	Differenzkosten Rohre (siehe Tabelle 9)
Schutz-/Fallrohr	1245		
Zubehör Solarleitung	80	-57	Press-Fittings (siehe Tabelle 9)
Taco-Setter Bypass	406	-313	Hydraulischer Abgleich der 3 Kollektorreihen gemäss Tichelmann (mehr Rohre) statt mit Taco-Settern
<i>Anschluss Solarrohr an eine Koll'reihe</i>	<i>214</i>	<i>-107</i>	<i>50 % Zeitersparnis wg. Fittings</i>
<i>Install. von Koll. bis Dachdurchführung</i>	<i>621</i>	<i>-155</i>	<i>25 % Zeitersparnis wg. Fittings</i>
<i>Install. Dachdurchführung bis Keller</i>	<i>136</i>		
<i>Installation Schutzrohr an Fassade</i>	<i>390</i>		
SOLARKREIS Gebäude	4'868		
C-Stahlrohre	439	-285	Vorisierte Kunststoffrohre (siehe Tabelle 9)
Sanitärinox -Rohre	713		
Expansionsgefäss	255		
Tauchhülsen	61		
Durchflussmesser	129		
Solargruppe	960		
Wärmeträgerflüssigkeit	579		
Anschluss Kleinmaterial	491	-295	-50 %, da Press-Fittings
Thermomischer inkl. Zirk'anschluss	227		
Zirkulationsrücklauf-Umschaltung	200		
<i>Installation Keller bis Solarladestation</i>	<i>150</i>	<i>-75</i>	<i>50 % schneller, da vorisierte Rohre in Kabelkanälen verlegt</i>
<i>Isolation Keller bis Ladestation</i>	<i>414</i>	<i>-414</i>	<i>Wegfall, da Rohre vorisoliert</i>
<i>Isolation der wärmeleitenden Rohre</i>	<i>249</i>		
WEITERES	5'207		Keine Reduktionen
EINSPARUNG		-2'095	
INVESTITIONSKOSTEN	24'613	22'518	Entspricht -9 %

5.1.2 Kollektoren mit Überhitzungsschutz

Es wird die Kostenreduktion betrachtet, die durch einen überhitzungssicheren Flachkollektor erzielt werden können, unter der Annahme, dass dieser bei den für die Warmwassererzeugung üblichen Betriebstemperaturen hoch effizient arbeitet, jedoch maximal Temperaturen von deutlich unter 200 °C erreicht. Diese Temperaturbegrenzung kann je nach maximal erreichbarer Temperatur die Verwendung von günstigen Materialien im Kollektor und bei der Verrohrung der Anlage (inkl. z.B. werkzeuffreier Kupplungen) ermöglichen. Zudem können Sicherheitskomponenten wie Membrandruck-Ausgleichsgefässe verkleinert oder weggelassen werden.

Überhitzungssichere Kollektoren können theoretisch auf Mechanismen basieren, welche ab Erreichen einer gewissen Temperatur im Kollektor dafür sorgen, dass die Absorption stark verringert, der Wärmeverlust des Kollektors stark erhöht, oder die Wärmeabgabe an die übrigen Komponenten in der Hydraulik auf andere Weise unterbunden wird. Der Kollektor soll idealerweise eine sehr hohe Effizienz bei Temperaturen bis ca. 70 °C aufweisen und bei Temperaturen darüber seine Leistung quasi abschalten.

Die Wirkung eines Überhitzungsschutzes wird abgestuft für 3 Temperaturen analysiert. Für alle Stufen wird angenommen, dass während der Nutzungsdauer der Anlage (30 Jahre) das Glykol so geringen Belastungen ausgesetzt ist, dass es nicht gewechselt werden muss. Varianten des Überhitzungsschutzes:

- **Maximal 160 °C:** ab dieser Temperatur kann davon ausgegangen werden, dass der thermische Abbau von Glykol stark verlangsamt ist.
- **Maximal 130 °C:** der Vordruck in der Hydraulik kann bei Einsatz üblicher hydraulischer Komponenten so eingestellt werden, dass keine Verdampfung im Kollektor stattfindet. Das MAG kann entsprechend kleiner dimensioniert werden.
- **Maximal 100 °C:** das MAG kann noch kleiner ausgelegt werden, es findet keine Verdampfung bei Atmosphärendruck statt, die Hydraulikkomponenten (z.B. Rohrleitungen) können bei Einhalten von Fluid-Temperaturen unter 100 °C aus günstigen Kunststoffen bestehen.

Eine relevante Kostenreduktion wird nur erreicht, wenn der Überhitzungsschutz den Einsatz von Kunststoffrohren erlaubt. Dies ist nur mit einer Temperaturbegrenzung auf 100 °C möglich. Deshalb wird in der nachfolgenden Tabelle nur der Effekt für eine Temperaturbegrenzung auf 100 °C gezeigt. Durch eine Temperaturbegrenzung auf 160 oder 130 °C kann lediglich das Expansionsgefäss kleiner gewählt werden, was zu Investitionseinsparungen kleiner 100 Fr. führt.

Tabelle 11: Kostenreduktion durch Einsatz von Kollektoren mit Temperaturbegrenzung auf 100 °C durch Überhitzungsschutz, in Kombination mit vorisolierten Kunststoffrohren.

Position (<i>Arbeit kursiv</i>)	Kosten aus Offerte (Fr.)	Reduktion durch überhitzungssichere Kollektoren und Kunststoffrohre	Bemerkung
Diverse Positionen zu Rohrleitungen		-2'087	Verwendung von Kunststoffrohren (siehe Tabelle 10)
Expansionsgefäss		-100	Kleineres Expansionsgefäss
EINSPARUNG		-2'187	
INVESTITIONSKOSTEN	24'613	22'426	Entspricht -9 %
BETRIEBSKOSTEN (Barwert)	3'654	1'295	-65 % durch Wegfall Glykolarsatz

5.1.3 Systeme mit Überhitzungsschutz: Drainback

Drainback-Solaranlagen werden von einigen Herstellern aktuell auf dem Markt angeboten. Sie stellen somit für sich keine technologische Innovation dar. Interessant wären jedoch Innovationen, die das Drainback-Konzept am Markt attraktiver oder kostengünstiger werden lassen. Welche Einsparungen bei Komponenten, Wartung und Unterhalt durch Drainback möglich sind im Vergleich zu konventionellen Anlagen, soll hier aufgezeigt werden. Je nach Drainback-Anbieter werden heute nicht alle diese Einsparungen umgesetzt.

Der Überhitzungsschutz in einem Drainback-System wird erreicht, indem das Fluid aus den Kollektoren vor dem Erreichen zu hoher Temperaturen abgelassen wird. Die Kollektoren selber erreichen somit normale Stagnationstemperaturen um 200 °C, die restlichen hydraulischen Komponenten erreichen je nach Ablasstemperatur deutlich tiefere Temperaturen, was den Einsatz von Kunststoffen z.B. für die Verrohrung ermöglicht. Der Übergang von Kollektoren zu den Rohrleitungen muss jedoch so gestaltet sein, dass die Hydraulik nicht zu hohen Temperaturen ausgesetzt ist. Zudem muss gewährleistet sein, dass nicht zu viel Wärmeträgerfluid nach dem Ablassen im Kollektor verbleibt (z.B. als Benetzung an den Absorberrohren), da dieses verdampfen und dadurch eine Belastung der Leitungen mit Dampf bewirken kann. Kunststoffrohre vertragen kurzfristige „Störfall-Temperaturen“ von ca. 110 °C (Kapitel 5.1.1), was über der Dampftemperatur bei Atmosphärendruck liegt.

Statt einer gewöhnlichen Solargruppe mit Expansionsgefäß kann eine druckhaltende Drainback-Gruppe zu geringfügig höheren Kosten verwendet werden. Bei offenen Systemen, in welchen bei Anlagenstillstand das Fluid am Punkt des Kontaktes zur Umgebung Atmosphärendruck hat, können weitere bauliche Vereinfachungen gemacht werden. Dies deshalb, weil das Fluid nach dem Entleeren des Kollektors in einfachen Behältern oder sogar in einem drucklosen Speicher (bei Wasser als Fluid) gesammelt werden kann.

Drainback-Systeme werden so ausgelegt, dass eine Entgasung des Wärmeträgermediums beim Füllen des Kollektors automatisch stattfinden kann. Im Drainback-Gefäß findet eine Phasentrennung statt, welche bewirkt, dass Gase ausgeschieden und im Gefäß angesammelt werden. Diese bessere Entgasung hat zur Folge, dass Drainback-Systeme bei der Inbetriebnahme für eine Entgasung nicht gespült werden müssen. Ausserdem fallen keine späteren Wartungsarbeiten für eventuelle zusätzliche Entgasung an.

Es werden hier Drainback-Systeme mit Glykol-Wasser und mit Wasser als Wärmeträgermedium unterschieden. Gemäss Informationen von Herstellern, welche Erfahrungen mit dem Einsatz von Kunststoffrohren und Wasser-DB haben, muss bei Verwendung dieser Rohre die Längendehnung auch bei korrekter Montage beachtet werden. Mit dem Einsatz von Kabelkanälen oder günstigen Metallschalen, in denen die Kunststoffrohre verlegt werden, kann die mögliche Bildung von Rohrschlaufen, die das Entleeren beeinträchtigen, verhindert werden. Bei Wasser-DB-Systemen muss die Entleerung von Hydraulikleitungen und Kollektorfeld im Frostbereich nahezu vollständig sein, um Frostschäden zu verhindern.

Tabelle 12: Kostenreduktion durch Einsatz vorisolierter Kunststoffrohre zusammen mit 2 Drainback(DB)-Varianten, Wärmeträgerflüssigkeit a) mit Frostschutz (Wasser-Glykol) und b) Wasser.

Position (<i>Arbeit kursiv</i>)	Kosten aus Offerte (Fr.)	Reduktion durch Drainback (DB) und Kunststoffrohre	Bemerkung
Diverse Positionen zu Rohrleitungen		-2'095	Verwendung von Kunststoffrohren (Herleitung siehe Tabelle 10)
<i>Inbetriebnahme</i>		-414	-50% wegen DB-Selbstbefüllung
a) DB mit Frostschutz im Fluid und Kunststoffrohren		+263	Mehrkosten durch Drainback Gefäss (teurer als Solargruppe)
b) DB mit Wasser als Fluid und Kunststoffrohren		-579	Einsparung Fluid, Annahme: Kosten DB-Solargruppe wie Solargruppe in Offerte
EINSPARUNG			
a) DB mit Frostschutz im Fluid und Kunststoffrohren		-2'088	
b) DB mit Wasser als Fluid und Kunststoffrohren		-2'931	
INVESTITIONSKOSTEN	24'613		
a) DB mit Frostschutz im Fluid und Kunststoffrohren		22'525	Entspricht -8 %
b) DB mit Wasser als Fluid und Kunststoffrohren		21'682	Entspricht -12 %
BETRIEBSKOSTEN (Barwert)	3'654	1'295	-65 % durch Wegfall Glykolarsatz

5.1.4 Kubischer Kunststoffspeicher

Sollen in einer Solaranlage grosse Speicher eingesetzt werden, welche nicht als Einzelstück durch die Türen eingebracht werden können, entstehen Mehrkosten durch Platzschweissung oder Verwendung mehrerer kleiner Speicher. Auch bei der hier untersuchten Referenzanlage wurden zwei 750-Liter-Speicher eingesetzt, da ein Standard-Speicher mit 1'500 Litern Volumen nicht turgänglich wäre (bei typischerweise 0.8 m breiten Türen). Es wird in diesem Kapitel abgeschätzt, welche Wirkung der Einsatz eines einzigen, rechteckigen Kunststoffspeichers statt zwei zylindrischer Standardspeicher auf die Kosten hätte.

Betrachtet wird ein Kunststoffspeicher mit rechteckigem Grundriss. Grundriss und Höhe werden so gewählt, dass der Speicher durch 0.8 Meter breite Türen passt und in Räumen mit 2.4 Metern lichter Höhe aufgestellt werden kann. Der Speicher erreicht dadurch eine hohe Ausnutzung seines Stellplatzes. Zudem soll er auf Grund seiner rechteckigen Form gut in Gruppen modular aufgebaut werden können. Die Wärmedämmung wird nach der Installation vor Ort angebracht.

Die Hülle des Kunststoffspeichers, dessen Kosten dargestellt werden, kann im Rotations-Schmelz-Verfahren (Rotomold-Verfahren) produziert werden mit folgenden Eigenschaften:

- Wand aus doppellagigem Polyethylen (PE und TPE)
- Volumen 1'400 Liter
- Temperaturbeständig bis 95 °C
- Metallstreben in äusseren Sicken zur Aufnahme der statischen Kräfte (ggf. bauseits montiert)
- Abnehmbare Wärmedämmung
- Kein Überdruck möglich (drucklos, respektive ausgelegt auf den Eigendruck des Wasserinhaltes)

Die Kosten bei einer Stückzahl von 100 liegen laut Schätzung von Produzenten bei 1'800 Fr. für die Hülle inklusive Wärmedämmung. Das Trinkwasser wird mit einem Frischwassermodul bereitgestellt.

Zwei Varianten für den Einsatz des Speichers werden betrachtet:

- Einbau eines solaren Wärmetauschers (Solarkreis mit Frostschutz betrieben).
- Verwendung des Speichers als Teil eines Wasser-Drainback-Systems, das Wasser wird vom Kollektor kommend mit einer Schichtladeeinrichtung eingetragen, Entleerung des Wassers in den Speicher.

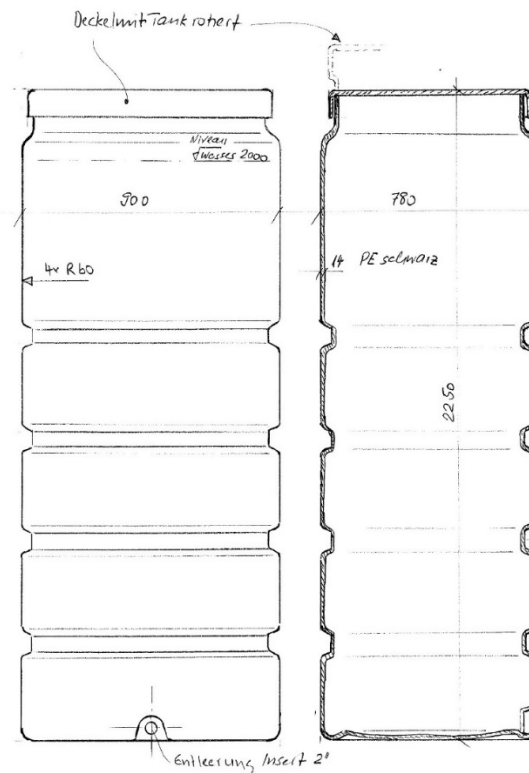


Abbildung 10: Skizze des drucklosen Kunststoffspeichers mit rechteckigem Grundriss und 1.4 m^3 Volumen. Darstellung ohne äussere Metallverstreibungen und Isolation (Quelle: Grütter Kunststoff und Formen AG).

Die Kosten für eine allfällige Reduktion des Stellplatzes durch bessere Ausnutzung mit wenigen grossen Speichern statt vielen kleineren (z.B. ein grosser eckiger Speicher statt zwei kleine, runde, türgängige) wird nicht berücksichtigt, da der monetäre Gegenwert schwierig zu beziffern und stark objektabhängig ist. Falls der Kellerraum, der durch die bessere Platzausnutzung der kubischen Speicher erhalten wird, anderweitig genutzt werden kann, ist der Gegenwert aber möglicherweise für den Endkunden relevant.

Tabelle 13: Kostenreduktion durch Einsatz eines drucklosen Kunststoffspeichers, Solarkreis druckhaltend mit Frostschutz.

Position (<i>Arbeit kursiv</i>)	Kosten aus Offerte (Fr.)	Reduktion Kunststoffspeicher, Solarkreis druckhaltend	Bemerkung
SPEICHER			
Warmwasserspeicher 2 x 750 Liter	2669	-578	Solarer Speicher und Boiler (dem Gas zugerechnet) fallen weg, statt dessen werden ein grosser Speicher und Komponenten angerechnet: - Speicher 1'800 Fr. - Frischwassermodul 2'660 Fr. - Solar-WT: 300 Fr.
<i>Installation Solarkreis (inkl. Speicher)</i>	622	-311	50 % Einsparung, da 1 statt 2 Speicher
SOLARKREIS Gebäude			
Sanitärinox-Rohre	713	-356	50 % Einsparung, da 1 statt 2 Speicher
Zirkulationsrücklauf-Umschaltung	200	-200	Umschaltventil zw. Speichern fällt weg
EINSPARUNG		-1'446	
INVESTITIONSKOSTEN		24'613	23'168 Entspricht -6 %

Tabelle 14: Kostenreduktion durch Einsatz eines drucklosen Kunststoffspeichers, Wasser-Drainback im Solarkreis, Solarkreislauf entleert in den Kunststoffspeicher. (Kunststoffleitungen hier nicht berücksichtigt).

Position (<i>Arbeit kursiv</i>)	Kosten aus Offerte (Fr.)	Reduktion Kunststoffspeicher, Solarkreis Wasser-DB	Bemerkung
SPEICHER			
Warmwasserspeicher 2 x 750 Liter	2669	-728	Solarer Speicher und Boiler (dem Gas zugerechnet) fallen weg, statt dessen werden ein grosser Speicher und Komponenten angerechnet: - Speicher 1'800 Fr. - Frischwassermodul 2'660 Fr. - Schichtladelanze 150 Fr.
<i>Installation Solarkreis (inkl. Speicher)</i>	622	-311	50 % Einsparung, da 1 statt 2 Speicher
SOLARKREIS Gebäude			
Sanitärinox-Rohre	713	-356	50 % Einsparung, da 1 statt 2 Speicher
Expansionsgefäss	255	-255	Fällt weg
Wärmeträgerflüssigkeit	579	-579	Fällt weg
Zirkulationsrücklauf-Umschaltung	200	-200	Umschaltventil zw. Speichern fällt weg
WEITERES			
<i>Inbetriebnahme</i>	829	-414	-50% wegen DB-Selbstbefüllung
EINSPARUNG		-2'844	
INVESTITIONSKOSTEN		24'613	21'769 Entspricht -12 %
BETRIEBSKOSTEN (Barwert)		3'654	1'295 -65 % durch Wegfall Glykolarsatz

Ergänzend zum Kunststoffspeicher wurde die Kostenersparnis berechnet, wenn statt den beiden 750-Liter-Speichern aus der Offerte ein grosser, zylindrischer Standardspeicher mit 1'500 Litern Volumen verwendet wird. Wobei diese Variante aufgrund der Grösse des Speichers in viele Gebäude wahrscheinlich nicht eingebracht werden kann. Wird ein 1'500-Liter-Speicher eingesetzt und kann er ohne bauliche Massnahmen in ein Gebäude gebracht werden, sinken die Investitionskosten um 8 % auf 22'739 Fr.

5.2 Kostenreduktion durch organisatorische Massnahmen

Wegen der Relevanz der Arbeitskosten für die Investition werden auch Massnahmen im Bereich der Arbeitsorganisation betrachtet. Es werden zwei Massnahmen quantifiziert. Zudem konnten verschiedenen Kostentreiber identifiziert werden, die hier aufgeführt werden, deren Auswirkung auf die Kosten aber nicht beziffert wird.

„Komplett-Solarteur“: Alles aus einer Hand

Bei der Massnahme „Komplett-Solarteur“ wird angenommen, dass der Installationsbetrieb alle anfallenden Arbeiten übernimmt (ausser Aufstellen des Gerüsts), was voraussetzt, dass er über Mitarbeiter mit entsprechender Ausbildung und Zulassung sowie über die benötigten Werkzeuge verfügt.

Tabelle 15: Kostenreduktion durch „Komplett-Solarteur“ (alle Gewerke aus einer Hand)

Position (<i>Arbeit kursiv</i>)	Kosten aus Offerte (Fr.)	Reduktion durch „Komplett-Solarteur“	Bemerkung
WEITERES			
<i>Elektrische Installation</i>	207	-50	Vom Solarteur übernommen
<i>Kernbohrung</i>	345	-250	Vom Solarteur übernommen
EINSPARUNG		-300	
INVESTITIONSKOSTEN	24'613	24'313	Entspricht -1 %

Installation bei Dacherneuerung

Als zweite Massnahme werden die Kosteneinsparungen betrachtet, die realisiert werden können, wenn die Solaranlage im Rahmen einer Erneuerung des hier betrachteten Flachdachs erstellt wird und der Solarteur entsprechend keine Kiesarbeiten vornehmen muss. Entsprechend können die Kosten für das Gerüst der Dacherneuerung zugerechnet werden.

Tabelle 16: Kostenreduktion durch Installation der thermischen Solaranlage im Rahmen einer Dacherneuerung (Flachdach).

Position (<i>Arbeit kursiv</i>)	Kosten aus Offerte (Fr.)	Reduktion durch Installation bei Dacherneuerung	Bemerkung
KOLLEKTORFELD			
<i>Montage Konsolen u. Befestigung</i>	621	-311	Kies entfernen und wieder ausbringen entfällt (Flachdach betrachtet)
WEITERES			
<i>Gerüst u. Absturzsicherung</i>	1500	-1500	Entfällt
EINSPARUNG		-1'811	
INVESTITIONSKOSTEN	24'613	22'803	Entspricht -7 %

Weitere Kostentreiber

In den Gesprächen mit den Installateuren wurden zudem verschiedene Gründe genannt, welche oft zu Zusatzkosten bei der Erstellung von Solaranlage führen. Eine Vermeidung dieser Kosten kann mutmasslich durch eine gute Koordination der Arbeiten erreicht werden, soweit diese Koordination möglich ist:

- Mehrmaliges Hinfahren zu Baustelle (mögliche Gründe: mangelhafte Koordination mit Dritten, fehlende Lagerhaltung von Kleinteilen im Montageauto, etc.).
- Neubau: zu viele Einzelschritte, Zusatzkosten falls Baukran abgebaut wurde bevor die Kollektoren auf das Dach gebracht wurden.
- Vor allem bei Altbauten: wegen Platzverhältnissen kann nur ein (zu) kleiner Speicher eingebaut werden, was den Ertrag senkt und entsprechend die Wärmegestehungskosten erhöht, oder bei grossem Kollektorfeld zu hohe Temperaturen im Glykol bewirken kann.
- „Höhere Gewalt“: Konstant schönes Wetter v.a. bei Indachanlagen wichtig, sonst hohe Arbeitskosten möglich wegen häufigen Sicherungsmassnahmen gegen Regen.

5.3 Übersicht Einzelmaßnahmen und resultierende Energieträgervermeidungskosten

Die Wirkung der Einzelmaßnahmen aus dem vorangehenden Kapitel und deren Effekt auf die Energieträgervermeidungskosten sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Die Kostenreduktionen, die durch geeignete Kombination mehrerer Einzelmaßnahmen zu erwarten sind, sind in Kapitel 5.4 aufgeführt.

Tabelle 17: Übersicht der Kostenreduktionen bei Umsetzung einzelner Massnahmen aus den vorherigen Kapiteln (in Fr. respektive Fr./kWh).

Kosten	Offerte	Einsatz von Kunststoffrohren (Hydraulik < 100 °C)			Einsatz Kunststoffspeicher**)		Weiteres	
		Kollektor mit Überhitzungsschutz ^{*)}	Zusammen mit Glykol-Drainback	Zusammen mit Wasser-Drainback	Kunststoffspeicher, Solarkreis druckhaltend	Kunststoffspeicher, Wasser-Drainback	Alle Gewerke aus einer Hand	Installation bei Dacherneuerung
INVESTITIONSKOSTEN	24'613	22'518	22'525	21'682	23'168	21'769	24'313	22'803
Einsparung	-	-2'095	-2'088	-2'931	-1'446	-2'844	-300	-1'811
Einsparung relativ	-	-9%	-8%	-12%	-6%	-12%	-1%	-7%
ETRIEBSKOSTEN (Barwerte)	3'654	1'295	1'295	1'295	3'654	1'295	3'654	3'654
Einsparung	-	-2'359	-2'359	-2'359	-	-2'359	-	-
Einsparung relativ	-	-65%	-65%	-65%	0%	-65%	0%	0%
INVESTITION + BETRIEBSKOSTEN	28'267	23'813	23'820	22'977	26'822	23'065	27'967	26'457
Einsparung	-	-4'454	-4'447	-5'290	-1'446	-5'203	-300	-1'811
Einsparung relativ	-	-16%	-16%	-19%	-5%	-18%	-1%	-6%
ENERGIETRÄGERVERMEIDUNGSKOSTEN	0.13	0.11	0.11	0.10	0.12	0.10	0.124	0.118
Reduktion		-16%	-16%	-19%	-5%	-5%	-1%	-6%

^{*)} Kosten für Überhitzungsschutz nicht berücksichtigt, da Technologie nicht definiert

^{**)} Hier ohne Kunststoffrohre in der Hydraulik

5.4 Kombinierte Kostenreduktionen

Die verschiedenen Einzelmassnahmen können kombiniert werden, soweit dies technologisch sinnvoll ist. In den folgenden Tabellen sind 3 dieser Kombinationen mit Kostenreduktionen und Energieträgervermeidungskosten aufgeführt:

- Die Kombination, die zur maximalen Kostenreduktion durch technische Massnahmen führt: ein Solarsystem mit Wasser-Drainback, Kunststoffspeicher und Kunststoffrohren.
- Ein druckhaltendes System mit Frostschutz: 100°C-Kollektor, Kunststoffspeicher und Kunststoffrohre.
- Und schliesslich eine „Enthusiasten-Variante“, welche neben dem Maximum der technischen Massnahmen noch weitere, u.a. organisatorische Einsparungen berücksichtigt. Die Wahrscheinlichkeit, dass alle Reduktionen dieser Variante realisiert werden können, wurde von der Begleitgruppe unterschiedlich eingeschätzt.

Tabelle 18: Kombinierte Massnahmen zur Kostenreduktion (Erläuterung der Reduktionen siehe Kapitel 5.1).

Position (Arbeit kursiv)	Kosten (Fr.)	Maximum der technischen Massnahmen: Wasser-Drainback, Kunststoffspeicher, Kunststoffrohre	Druckhaltendes System mit Frostschutz: 100°C-Kollektor, Kunststoffspeicher, Kunststoffrohre
PLANUNG	650	Keine Reduktion	Keine Reduktion
KOLLEKTORFELD	6'727	Keine Reduktion	Keine Reduktion
SPEICHER	3'291		
Warmwasserspeicher 2 x 750 Liter	2669 *)	-728	-578
Installation Solarkreislauf (im Keller inkl. Speicheranschluss)	622	-311	-311
SOLARKREIS Dach	3'871		
Solarflexrohre	779	-393	-393
Schutz-/Fallrohr	1245		
Zubehör Solarleitung	80	-57	-57
Taco-Setter Bypass	406	-313	-313
Anschluss Solarrohr an eine Kollektorreihe	214	-107	-107
Installation von Koll. bis Dachdurchführung	621	-155	-155
Installation Dachdurchführung bis Keller	136		
Installation Schutzrohr an Fassade	390		
SOLARKREIS Gebäude	4'868		
C-Stahlrohre	439	-285	-285
Sanitärinox -Rohre	713	-356	-356
Expansionsgefäss	255	-255	-100
Tauchhülsen	61		
Durchflussmesser	129		
Solargruppe	960		
Wärmeträgerflüssigkeit	579	-579	
Anschluss Kleinmaterial	491	-197	-197
Thermomischer inkl. Zirkulationsanschluss	227		
Zirkulationsrücklauf-Umschaltung	200	-200	-200
Installation Keller bis Solarladestation	150	-75	-75
Isolation Keller bis Ladestation	414	-414	-414
Isolation der wärmeleitenden Rohre	249		
WEITERES	5'207		
Datalogger	223		
Inbetriebnahme	829	-414	
Transport u. Versicherung	1350		
Gerüst u. Absturzsicherung	1500		
Elektrische Installation	207		
Kernbohrung	345		
Anlagen Übergabe	483		
Allgemeine Baustellenkosten	270		
INVESTITIONSKOSTEN	24'613	19'774	21'072
		-20 %	-14 %
INVESTITION + BETRIEBSKOSTEN	28'267	21'069	22'368
		-25 %	-21 %
ENERGIETRÄGERVERMEIDUNGSKOSTEN (Fr./kWh)	0.13	0.09	0.10
		-25 %	-21 %

*) einer der Speicher wird dem fossilen Anlagenteil zugerechnet

Tabelle 19: „Enthusiasten-Variante“ mit maximaler Kostenreduktion (Erläuterungen siehe auch Kap. 5.1 und 5.2).

Position (Arbeit kursiv)	Kosten (Fr.)	Enthusiasten- Variante: Weitere Reduktionen	Bemerkung zu den zusätzlichen „Enthusiasten- Massnahmen“
PLANUNG	650		
KOLLEKTORFELD	6'727		
Montage Konsolen u. Befestigung	621	-311	Installation vor Kies-Ausbringen
SPEICHER	3'291		
Warmwasserspeicher 2 x 750 Liter	2669 *)	-728	
Installation Solarkreislauf (im Keller inkl. Speicheranschluss)	622	-311	
SOLARKREIS Dach	3'871		
Solarflexrohre	779	-393	
Schutz-/Fallrohr	1245	-830	Kunststoff statt Kupfer setzt sich durch (-66 %)
Zubehör Solarleitung	80	-57	
Taco-Setter Bypass	406	-313	
Anschluss Solarrohr an eine Kollektorreihe	214	-107	
Installation von Koll. bis Dachdurchführung	621	-155	
Installation Dachdurchführung bis Keller	136		
Installation Schutzrohr an Fassade	390		
SOLARKREIS Gebäude	4'868		
C-Stahlrohre	439	-285	
Sanitärinox -Rohre	713	-356	
Expansionsgefäss	255	-255	
Tauchhülsen	61		
Durchflussmesser	129		
Solargruppe	960		
Wärmeträgerflüssigkeit	579	-579	
Anschluss Kleinmaterial	491	-197	
Thermomischer inkl. Zirkulationsanschluss	227		
Zirkulationsrücklauf-Umschaltung	200	-200	
Installation Keller bis Solarladestation	150	-75	
Isolation Keller bis Ladestation	414	-414	
Isolation der wärmeleitenden Rohre	249		
WEITERES	5'207		
Datalogger	223		
Inbetriebnahme	829	-414	
Transport u. Versicherung	1350	-675	Lagerhaltung & bessere Organisation (-50 %)
Gerüst u. Absturzsicherung	1500	-1500	Mit Dacherneuerung
Elektrische Installation	207	-50	Komplett-Solarteur
Kernbohrung	345	-250	Komplett-Solarteur
Anlagen Übergabe	483	-241	Kurze Übergabe möglich, da Anlage "autonom" /Fernwartung
Allgemeine Baustellenkosten	270		
INVESTITIONSKOSTEN	24'613	15'917	-35 %
INVESTITION + BETRIEBSKOSTEN	28'267	17'212	-39 %
ENERGIETRÄGERVERMEIDUNGSKOSTEN (Fr./kWh)	0.13	0.08	-39 %

*) einer der Speicher wird dem fossilen Anlagenteil zugerechnet

5.5 Bewertung der Kostenreduktionen

Die Variante mit den maximalen Kostenreduktionen durch technische Massnahmen (Wasser-Drainback, Kunststoffspeicher, Kunststoffrohre) führt wie in Tabelle 18 aufgeführt zu Energieträgervermeidungskosten von 9 Rp./kWh. Zu diesen Kosten könnte im simulierten Gesamtsystem der Erdgasverbrauch reduziert werden. Die 9 Rp./kWh entsprechen in etwa den heutigen Marktpreisen für Erdgas für Haushalte, was zeigt, dass solare Warmwasser-Vorwärmanlagen mit Umsetzung der Kostenreduktionen bereits ohne Subventionen konkurrenzfähig sein könnten.

Die Wärmegestehungskosten des Gesamtsystems Gas-Solarwärme (als beispielhafte Auslegung der Standardlösung 1 der MuKE 2014 Teil F) betragen mit Umsetzung der maximalen Kostenreduktionen durch technische Massnahmen beim Solarteil 18 Rp./kWh (mit Subventionen 16 Rp./kWh). Die Gestehungskosten liegen somit ca. 4 Rp./kWh unter denjenigen von Standardlösung 7 (PV mit Wärmepumpe) mit aktuell 22 Rp./kWh (mit Subventionen 21 Rp.); Herleitung siehe Kapitel 4.4). Es ist aber zu beachten, dass die Kosten der SL 7 hier mit einer recht teuren Split-Wärmepumpe und separatem Boiler berechnet wurden. Mit Einführung der MuKE 2014 Teil F kann vermutlich bei SL 7 mit einer Kostenreduktion gerechnet werden, falls diese Variante grössere Verbreitung in Mehrfamilienhäusern findet. Die solarthermische Standardlösung 1 würde ohne Kostenreduktionen mit 19 Rp. (18 Rp. mit Subvention) für die solare Nutzwärme dann möglicherweise teurer werden als SL 7. Die maximalen technischen Kostenreduktionen bei der Solarthermie umzusetzen ist entsprechend wichtig um die Solarthermie konkurrenzfähig zu halten.

6 Ergebnisse & Empfehlungen für die 2. Projektphase

Zur Senkung der Kosten von Solarthermieanlagen wurden sowohl technische Massnahmen bei den Anlagenkomponenten als auch Massnahmen bei der Organisation der Installationsarbeiten auf ihre mögliche Wirkung untersucht.

Betrachtet wurde eine solarthermische Warmwasseranlage mit einer Kollektorfeldgrösse von 17 m² und einem totalen Volumen des Warmwasserspeichers von 1'500 Litern, die mit dieser Grösse gemäss Datenerhebung typisch für den Einsatz in Mehrfamilienhäusern ist.

Betrachtet man die untersuchten Massnahmen zur Reduktion der Kosten einzeln, entsteht der grösste Einspareffekt mit der Verwendung **vorisolierter Kunststoffrohre** (oder Kunststoff-Metall-Verbundrohren) in der Hydraulik der Solaranlage. Die Investitionskosten können damit um 9 % und die Energieträgervermeidungskosten um 16 % reduziert werden. Damit Kunststoffrohre verwendet werden können, müssen jedoch geeignete Vorkehrungen getroffen werden, damit die Temperatur in den Rohrleitungen in allen Betriebssituationen unter ca. 100 °C bleibt.

Zum Erreichen einer solchen **Temperaturbegrenzung** bieten sich zwei Strategien an, wobei die erste teilweise auf dem Markt angeboten wird und die zweite Entwicklungsarbeiten benötigt:

- **Drainback-Systeme** erlauben die Verwendung konventioneller Kollektoren, aus denen das Fluid abgelassen wird bevor Temperaturen entstehen, welche für die Kunststoffrohre kritisch sind. Zusammen mit den Kunststoffrohren lassen sich mit **Wasser-Drainback-Systemen** Kostenreduktionen von 12 % bei der Investition und 19 % bei den Energieträgervermeidungskosten realisieren. Bei **Wasser-Glykol-Drainback** liegen die Reduktionen tiefer bei 8 resp. 16 %.
- Der Einsatz eines **Kollektors mit Überhitzungsschutz**, dessen Effizienz bei Absorbertemperaturen von ca. 100 °C drastisch abnimmt, und der somit keine Temperaturen erreicht, welche den Kunststoffrohren schaden können. Die Kosten für einen solchen Kollektor können derzeit nicht beziffert werden. Verschiedene Technologien kommen theoretisch für den Überhitzungsschutz in Frage. Ggf. sind die Kosten nicht höher als die von aktuellen Kollektoren. Die Kostenreduktionen von Anlagen mit Kollektoren welche über einen Überhitzungsschutz verfügen werden in erster Linie durch den Einsatz der vorisolierten Kunststoffrohre erreicht (9 resp. 16%, s.o.).

Als weitere Einzelmassnahme wurde die Verwendung von **drucklosen kubischen Kunststoffspeichern** mit abnehmbarer Isolation betrachtet, welche turgänglich sind (bei 80 cm breiten Türen) und sich modular zu grösseren Speichern kombinieren lassen. Wird der Kunststoffspeicher mit einem Solar-Wärmetauscher realisiert (Solarsystem druckhaltend), resultieren Einsparungen bei den Investitions- und Energieträgervermeidungskosten von 5 - 6 %. Wird der Kunststoffspeicher zusammen mit einem Wasser-Drainback-System eingesetzt, dessen Entleerungsvolumen im Speicher integriert ist, können Reduktionen von 12 % bei der Investition und 18 % bei den Energieträgervermeidungskosten realisiert werden. Dies beinhaltet noch nicht die Kombination mit Kunststoffrohren, welche weiter unten dargestellt wird.

Die untersuchten **Massnahmen im organisatorischen Bereich**, mit denen die Arbeitskosten bei der Installation gesenkt werden können, lassen die folgenden Kostenreduktionen erwarten:

- Werden alle Gewerke vom Installateur („**Komplett-Solarteur**“) ausgeführt, werden Reduktionen von 1 % erzielt.
- Wird das Kollektorfeld im Rahmen einer **Dacherneuerung** erstellt, werden Reduktionen von 6 - 7 % erzielt.

Die oben aufgeführten Massnahmen lassen sich teilweise kombinieren, womit die Kostenreduktion maximiert werden kann:

Die **maximale Reduktion** erreicht ein System mit **Wasser-Drainback, Kunststoffrohren und kubischem Kunststoffspeicher**. Die Investitionskosten sinken dadurch um 20 %. Die Energieträgervermeidungskosten für die untersuchte solare Warmwasser-Vorwärmanlage sinken um 25 % und liegen dann mit 9 Rp./kWh in der Höhe aktueller Erdgas- oder Heizölpreise für Privathaushalte.

Soll statt Drainback ein **System ohne entleerenden Solarkreis** zusammen mit **Kunststoffrohren** eingesetzt werden, muss ein **Kollektor mit Überhitzungsschutz** verwendet werden. Die Reduktionen belaufen sich bei dieser Kombination auf 14 % für die Investitionskosten und 21 % für die Energieträgervermeidungskosten – sind also jeweils um 6 resp. 4 % kleiner als bei der maximalen Reduktion mit Wasser-Drainback.

Als dritte Massnahmen-Kombination wurde eine „**Enthusiasten-Variante**“ definiert, bei der alle technischen und organisatorischen Reduktionen gemeinsam umgesetzt werden (soweit sinnvoll kombinierbar). Diese Variante muss **mit dem Kunden abgestimmt** werden (teils einfache Komponenten, Realisation bei Dacherneuerung) und enthält postulierte **Skaleneffekte** bei Transport und Lagerhaltung. Diese Enthusiasten-Variante zeigt, dass bei den Investitions- und Energieträgervermeidungskosten **Reduktionen von 35 resp. 39 %** möglich sein könnten.

Die **Kostenreduktionen sind eher konservativ geschätzt**, wurden mit der Begleitgruppe intensiv diskutiert und sind auf die Erfahrung und auf die üblichen Aufwandschätzungen der Installationsfirmen aus der Begleitgruppe abgestützt. Die Autoren gehen davon aus, dass die Margen beim Verkauf von Solaranlagen, deren Inbetriebnahme problemlos ist und die während der Nutzungsdauer sehr wartungsarm sind, nochmals merklich reduziert werden können, ohne dass es zu Gewinneinbussen bei den Installationsbetrieben kommt. Die **Begleitgruppe empfiehlt ausdrücklich weitere Massnahmen** zusätzlich zu Kostensenkungen, um die Verbreitung der Solarthermie zu fördern. Wichtige nicht-technische Massnahmen sind zum Beispiel in der Studie „Preise und Kosten thermischer Solaranlagen“ (BFE 2014)⁶ vorgeschlagen worden.

Für die **2. Projektphase**, für die eine Laufzeit von 3 Jahren vorgesehen ist, schlagen wir die nachstehenden Inhalte vor. Die **Massnahmen zur Realisierung von Kosteneinsparung** werden hier in Rücksprache mit der Begleitgruppe etwas weiter gefasst als im vorliegenden Bericht untersucht, damit auch zusätzliche Lösungsansätze betrachtet werden können:

A) **Alternative Rohrsysteme für die Hydraulik**

Es soll ein neues Rohr- und Fitting-System ausgelegt und getestet werden, welches in Solarthermieanlagen mit einer Temperaturbegrenzung auf ca. 100 °C eingesetzt werden kann. Das System soll auf günstigen Werkstoffen basieren und zu niedrigen Preisen angeboten und montiert werden können. Es sollen in erster Linie gängige Produkte aus der Heizungsbranche verwendet werden wie bspw. vorisolierte Kunststoff- oder Aluminiumrohre. Die Hydraulikkomponenten sollen ein hohes Mass an Vereisungssicherheit haben (bei verbleibendem Wasser im Rohr) und somit bei Einsatz in Wasser-Drainback-Anlagen eine erhöhte Anlagensicherheit garantieren können⁷. Zusammen mit der Solarbranche und unter Einbezug eines Produzenten von Leitungsrohren wird eine Produktpalette definiert, die in solarthermischen Anlagen eingesetzt werden kann. Die Hydraulikkomponenten werden im Labor und in einem Feldversuch auf ihre

⁶ BFE 2014, Preise und Kosten thermischer Solaranlagen – Analyse der Preise in der Schweiz, Österreich und Baden-Württemberg, Ernst Basler + Partner AG im Auftrag des Bundesamts für Energie, 2014

⁷ Wenn Wasser in „Leitungssäcken“, die sich bei mangelhafter Installation oder auch im Laufe der Nutzungsdauer ggf. bilden können, verbleibt und im Winter einfriert, darf die Leitung dennoch nicht bersten.

Eignung untersucht. Sollte es sich zeigen, dass hier auf die Solarthermieranwendung zugeschnittene Neuentwicklungen sinnvoll wären, so werden diese in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner angestrebt (eventuell im Rahmen eines KTI-Projektes).

B) Wasser-Drainback-Konzept für eine rasche Umsetzung von Kostenreduktionen am Markt

Um kurzfristig ein verlässliches Solarthermiesystem zu stark reduzierten Kosten anbieten zu können, wird ein Wasser-Drainback-System mit Kunststoffrohren entworfen und getestet. Ziel ist es, ein Wasser-DB-System mit sehr hoher Verlässlichkeit während der gesamten Nutzungsdauer zu entwickeln. Die aktuell fehlende Sicherheit von Wasser-DB gegenüber Vereisung im Winter ist gemäss Branche ein entscheidender Grund, warum die eigentlich günstigen Wasser-DB-Systeme bis heute eine Nischen-Anwendung ist.

Der Fokus wird auf Wasser-DB-Systeme gelegt, wobei die Ergebnisse auf Wasser-Glykol-DB-Systeme übertragbar sein sollen. Gängige drainback-fähige Kollektoren werden darauf hin untersucht, welche Eigenschaften / Bauformen eine maximale Entleerung erreichen und somit eine minimale Dampfbelastung der Hydraulik ermöglichen. Die Reichweite der Dampfphase in den Leitungsrohren wird für unterschiedliche Kollektortypen und -verschaltungen untersucht. Bei Bedarf werden einfache bauliche Lösungen im Kollektor oder in den ersten Metern nach den Kollektoranschlüssen entworfen, welche die Kunststoffrohre vor übermässiger Dampfeinwirkung schützen. Für DB-Systeme mit Wasser als Fluid werden Steuerungslogik und Sensorik entworfen, welche während der gesamten Nutzungsdauer prüfen, ob die Entleerung des Systems erfolgreich ist.

Da Drainback-Systeme aus baulichen Gründen nicht immer realisiert werden können und bei einem Teil der Branche aufgrund der anspruchsvollen Installation auf Ablehnung stossen, sollen auch andere Strategien für den Einsatz von Kunststoffrohren verfolgt werden – siehe nachstehenden Punkt C).

C) Kollektor mit Überhitzungsschutz bei 100 °C: Technologie-Screening und Prototypen

Mit einem Technologie-Screening werden erfolgversprechende Strategien ausgewählt, mit denen ein Überhitzungsschutz für Kollektoren realisiert werden kann, welcher die Maximaltemperatur im Kollektor auf rund 100 °C begrenzt und somit den Einsatz von Kunststoffrohren in der Hydraulik zulässt. Durch den Überhitzungsschutz im Kollektor muss die Solaranlage nicht drainback-fähig sein, was je nach Gebäude, in dem die Anlage erstellt wird, Vorteile mit sich bringt. Werden die Kollektoren in DB-Anlagen mit Kunststoffleitungen verwendet, kann die allfällige Problematik des Ausdampfens von Fluid-Resten nach der Entleerung in die Hydraulik unterbunden werden, da keine Temperaturen über 100 °C entstehen. Die Funktionsfähigkeit von ein bis zwei dieser Technologien wird in Laborversuchen (1 bis 2 m² Absorberfläche) untersucht und die Effizienz der Kollektoren vermessen. Diese Arbeiten sollen zur Entwicklung eines Kollektors mit Überhitzungsschutz, zum Beispiel im Rahmen eines KTI-Projekts, führen.

D) Modularer, kubischer Speicher: Konzeptstudie und Prototyp

Um insbesondere beim Einbau solarthermischer Anlagen in bestehende Mehrfamilienhäuser mit entsprechend grossen Speichervolumen günstige Speichersysteme anbieten zu können, soll ein kubischer, druckloser Speicher entworfen und als Prototyp getestet werden. Der Speicher soll turgängig und modular erweiterbar sein. Bei Einsatz in einer Wasser-DB-Anlage soll der Speicher möglichst als Drainback-Volumen genutzt werden können. Als Materialien für den Speicher sollen z.B. Kunststoffe oder dünnwandiger Edelstahl auf ihre Eignung und ihre Produktionskosten untersucht werden. Für die Arbeiten wird die Zusammenarbeit mit einem Industriepartner angestrebt. Durch Einbezug von Vertretern der Solarbranche wird das Speicherkonzept auf die wichtigsten Anwendungen hin optimiert bezüglich Art der Speicherkomponenten und Einfachheit der Installation. Bei der Entwicklung und dem Design soll auch ein Einsatz in anderen Anlagekonzepten ohne Solarwärme mit in Betracht gezogen werden.

E) Autonome Kommunikationseinheit für Fernüberwachung und Visualisierung

Die – meistens nicht vorhandenen – Kommunikationsmöglichkeiten vom Standort einer Solaranlage (Gebäudekeller) zum Besitzer oder Betreuer der Anlage wurden in den Gesprächen mit den Mitgliedern der Begleitgruppe und anderen Experten wiederholt als relevantes Problem aufgeführt. In einer Machbarkeitsuntersuchung soll die Verwendung günstiger Sensorik und Kommunikationswege verglichen werden und Konzepte für Kommunikationseinheiten entwickelt werden, welche zu minimalen Kosten angeboten auch nachträglich in Solarwärmeanlagen montiert werden können. Dadurch sollen Fernüberwachung, Qualitätskontrolle und die Visualisierung von Betriebsdaten für die Endkunden ermöglicht werden. Die Komplexität und Kosten dieser Einheiten sollen von einer minimalen Lösung (z.B. Warnung bei Stagnation) bis hin zu aufwändigeren Konzepten mit Anzeigemöglichkeiten reichen. Um unabhängig von den Solarreglern zu sein, sollen diese Einheiten autonom funktionsfähig sein.

Voraussetzung für die Bereitstellung solcher Betriebsdaten ist heute in der Regel eine Kommunikation des Solarreglers über das Internet, für welche es keinen Standard gibt. Oft ist wegen der Lage im Keller keine WLAN- oder GSM-Verbindung möglich und eine LAN-Anbindung zu den oberen Stockwerken zu aufwändig. Eine mögliche Alternative kann hier die Verwendung neuer Standards zur Kommunikation wie zum Beispiel LoRa (IoT – Internet of Things) sein, oder auch andere Kommunikationswege. Bei der Sensorik sollen möglichst Chip-basierte Lösungen mit kleinsten Baumassen und niedrigstem Energieverbrauch eingesetzt werden, welche eventuell ihre elektrische Versorgungsenergie aus der Umgebung (Temperaturdifferenzen oder Funksignale, siehe z.B. www.greenteg.com) beziehen können und dadurch nicht auf Batterien oder Akkus angewiesen sind.

Anhang A: Auszug aus MuKE n 2014 – Standardlösungen Teil F

Art. 1.31 Standardlösungen: „Erneuerbare Wärme beim Wärmeerzeugersersatz“

Die Anforderung gemäss Art. 1.29 gilt als erfüllt, wenn eine der folgenden Standardlösungen (SL) fachgerecht ausgeführt wird:

- SL 1 Thermische Sonnenkollektoren für die Wassererwärmung Solaranlage: Mindestfläche 2% der EBF
- SL 2 Holzfeuerung als Hauptwärmeerzeugung Holzfeuerung als Hauptwärmeerzeuger und ein Anteil an erneuerbarer Energie für Warmwasser
- SL 3 Wärmepumpe mit Erdsonde, Wasser- oder Aussenluft elektrisch angetriebene Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser ganzjährig
- SL 4 mit Erdgas angetriebene Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser ganzjährig
- SL 5 Fernwärmeanschluss Anschluss an ein Netz mit Wärme aus KVA, ARA oder erneuerbaren Energien
- SL 6 Wärmekraftkopplung, el. Wirkungsgrad min. 25% und für min. 60% des Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser
- SL 7 Warmwasserwärmepumpe mit Photovoltaikanlage Wärmepumpenboiler und Photovoltaikanlage mit mind. 5 Wp / m² EBF
- SL 8 Ersatz der Fenster entlang der thermischen Gebäudehülle U-Wert best. Fenster $\geq 2,0$ W/m²K und U-Wert Glas neue Fenster $\leq 0,7$ W/m²K
- SL 9 Wärmedämmung von Fassade und/oder Dach U-Wert bestehende Fassade/Dach/Estrichboden $\geq 0,6$ W/m²K und U-Wert neue Fassade/Dach/Estrichboden $\leq 0,20$ W/m²K, Fläche mind. 0,5 m² pro m² EBF
- SL 10 Grundlast-Wärmeerzeuger erneuerbar mit bivalent betriebem fossilem Spitzenlastkessel. Mit erneuerbaren Energien automatisch betriebener Grundlast-Wärmeerzeuger (Holzschnitzel, Pellets, Erdwärme, Grundwasser oder Aussenluft) mit einer Wärmeleistung von mindestens 25% der im Auslegungsfall notwendigen Wärmeleistung ergänzt mit fossilem Brennstoff bivalent betriebener Spitzenlast-Wärmeerzeuger für Heizung und Warmwasser ganzjährig
- SL 11 Kontrollierte Wohnungslüftung (KWL). Neu-Einbau einer kontrollierten Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung und einem WRG-Wirkungsgrad von mindestens 70%

Anhang B: Auslegung der Standardlösung 7

Standardlösung 7: Luft-Wasser-WP mit PV (5 W_p/m² EBF)

Für betrachtetes Gebäude benötigt (Vorgaben MuKE n SL7)	4.25 kW _p PV
	ergibt 23.6 m ² bei 18% Anlagen-Wirkungsgrad
Aus Jahressimulation (Standort Rapperswil SG):	
Ertrag PV	4'427 kWh/a
Stromverbrauch: WP und Heizstab	8'358 kWh/a
Wärmeentnahme aus Speicher (Nutzenergie)	14'151 kWh/a
JAZ	1.69
Annahme:	20% Eigenverbrauch PV mit WP
Ausgaben:	
Kosten PV-Anlage, 4.25 kW _p :	15'000 Fr.
Split-Luft-WP (10 kW)	11'880 Fr.
Boiler (wie in SL1 vernachlässigt, da ohnehin benötigt)	- Fr.
Montage restliche Anlageteile	12'020 Fr.
Optional: Subventionen (EIV für PV-Anlage)	(-4393 Fr.)
Investition Gesamt	38'900 Fr.
Barwert Stromkosten	44'389 Fr. (1'720 Fr./a)
Summe Barwert Ausgaben	89'067 Fr.
Einnahmen:	
Barwert Verkauf PV-Strom	8'415 Fr.
Nettobarwert zum Investitionszeitpunkt:	80'651 Fr.
Wärmegestehungskosten Warmwasser	0.22 Fr./kWh (0.21 mit Subventionen)