

# IEA Solares Heizen und Kühlen Task 54: Preisreduktion von thermischen Solaranlagen

Arbeitsperiode 2015 - 2018

G. M. Wallner, H. Kicker,  
M. Grabmann, P. Bradler,  
T. Ramschak, F. Veynandt,  
R. Buchinger, M. Wesle

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**29/2019**

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe  
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

### **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:  
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

# IEA Solares Heizen und Kühlen

## Task 54: Preisreduktion von thermischen Solaranlagen

Arbeitsperiode 2015 - 2018

Ao.Univ.-Prof. DI Dr. Gernot M. Wallner, DI Harald Kicker,  
DI Dr. Michael Grabmann, DI Dr. Patrick Bradler  
Johannes Kepler Universität Linz  
Institute of Polymeric Materials and Testing

DI Thomas Ramschak, Dr. Francois Veynandt  
AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

Ing. Robert Buchinger, Max Wesle  
Sunlumo Technology GmbH)

Linz, Dezember 2018

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage [www.nachhaltigwirtschaften.at](http://www.nachhaltigwirtschaften.at) gewährleistet wird.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# Inhaltsverzeichnis

---

|    |                                                    |    |
|----|----------------------------------------------------|----|
| 1. | Kurzfassung .....                                  | 5  |
| 2. | Einleitung.....                                    | 7  |
| 3. | Hintergrundinformation zum Projektinhalt .....     | 10 |
| 4. | Ergebnisse des Projektes .....                     | 14 |
| 5. | Vernetzung und Ergebnistransfer .....              | 23 |
| 6. | Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen..... | 25 |
| 7. | Verzeichnisse .....                                | 27 |
| 8. | Anhang.....                                        | 31 |

# 1. Kurzfassung

Weltweit lagen die Wachstumsraten der Solarthermie in der letzten Dekade bei über 10%. Seit 2010 war jedoch ein kontinuierlicher Rückgang der Wachstumsrate auf 4% für 2016/17 feststellbar. Zudem kam es zu einer signifikanten Verschiebung in der Markt- und Wachstumsrelevanz solarthermischer Systeme. Während der Anteil nicht-gepumpter Systeme für die Warmwasserbereitung anstieg, kam es bei gepumpten Systemen, insbesondere in Europa, zu Marktrückgängen. In Fachkreisen ist es anerkannt, dass eine Neubelebung des Solarthermiemarktes nur durch eine signifikante Reduktion der Gesamtkosten eines Solarthermiesystems für Endkunden gelingt. Das Hauptziel von Task 54 war daher die Erarbeitung und Auslotung von Maßnahmen zur Preisreduktion thermischer Solaranlagen.

Im Arbeitsprogramm von IEA SHC Task 54 wurden 4 Subtasks mit dem Fokus auf Markterfolgskriterien und Kostenanalyse (Subtask A), Systemdesign, Installation, Betriebsführung und Wartung (Subtask B), kosteneffiziente Materialien, Produktionsprozesse und Komponenten (Subtask C) und Information, Verbreitung und Einbeziehung von Stakeholdern (Subtask D) definiert. Österreich hat eine Vorreiterrolle inne und übernahm die Leitung von Subtask C. Zudem wurden assoziierte nationale Forschungsprojekte implementiert (z.B. SolPol-4/5), aus denen Ergebnisse für Task 54 bereitgestellt wurden. Das österreichische Projektkonsortium bestand aus drei wissenschaftlichen Projektpartnern (JKU-IPMT, AEE INTEC und UIBK) und einem Unternehmenspartner (Sunlumo). Die Partnerstruktur zeichnete sich durch ausgewiesene Experten aus den Bereichen Solarthermie und Kunststofftechnologien aus. Österreich leistete zu allen Subtasks signifikante Beiträge. In Abstimmung mit den nationalen Forschungsprojekten lag der Fokus bei hochintegrierten, gepumpten und neuartigen nicht-gepumpten Kollektorsystemen in Vollkunststoff- oder Hybridbauweise und dafür erforderliche Systemkomponenten (z.B. voll-überhitzungsgeschützte Kollektoren).

In Task 54 wurde ein Tool zur Berechnung von Wärmegestehungskosten (LCOH) implementiert und auf Referenzsysteme und optimierte Systeme für Warmwasser und Raumwärme angewendet. Durch angepasstes Design (insb. vollständiger Überhitzungsschutz), Effizienzsteigerung und Standardisierung gelang es für mitteleuropäische Anlagen in Metall/Glas-Bauweise die solaren Wärmegestehungskosten um über 40% zu reduzieren. Besonders vorteilhaft wirkte sich die einfachere Installierbarkeit eines Kunststoff-Solarkreises im Vergleich zur herkömmlichen Kupferverrohrung aus. Der solare Kostenvorteil beeinflusst durch das Zusatzheizsystem jedoch nur geringfügig die Gesamtwärmegestehungskosten (-5%). Die Untersuchungen zeigten klar, dass thermische Solaranlagen für die Warmwasserbereitung im Mehrfamilienhausbereich deutlich kosteneffizienter sind als bei Einfamilienhäusern. Bei Anlagen für die Warmwasserbereitung in warmen Klimazonen (Emerging Markets) sind weitere Kostenreduktionen nur durch eine werkstoffliche Transformation von Metall/Glas auf Kunststoff möglich. Dies wurde sowohl für gepumpte Systeme als auch Speicherkollektorsysteme gezeigt. Ultra-low-cost-Anlagen mit Endkundenpreisen um 100\$ (exkl. Installation) erscheinen durch Folien- oder Membranbauweisen möglich.



## Abstract

Up to 2010 the market growth rates of the solar thermal industry were more than 10%. Since then, the growth rates have been declining amounting to just 4% in 2016/17. Furthermore, a significant shift from pumped hot water and space heating systems in moderate climate zones (e.g., middle Europe) to more simple, non-pumped hot water collector system in emerging markets was discernible. Experts are agreeing, that anew push for the solar thermal market can be achieved just by significant reductions of the overall, final customer costs. Hence, the main objective of IEA SHC Task 54 was to elaborate and evaluate measures for price reductions of solar thermal systems.

The working programme of Task 54 consisted of 4 subtasks with focus on market success factors and cost analysis (Subtask A), system design, installation, operation and maintenance (Subtask B), cost-efficient materials, production processes and components (Subtask C) and information, dissemination and stakeholder involvement (Subtask D). Austria took a leading role being responsible for Subtask C. Of importance for Task 54, was the successful implementation of associated, collaborative research projects (e.g., SolPol-4/5). JKU-IPMT, AEE INTEC and UIBK contributed as scientific partners to Task 54, while Sunlumo was involved as Austrian company partner. Expertise from different fields such as solar thermal and polymer technology and science was provided. Austria contributed to all Subtasks. However, the main focus of the Austrian activities was on pumped and non-pumped solar thermal systems based on adequate design (e.g., full overheating protection).

In Task 54, a tool for the assessment of levelized costs of heat (LCOH) was implemented and used to evaluate reference systems and cost-optimized systems. By adequate design, performance increase and the use of standardized components a 40% reduction of the solar LCOH values was achieved for hot water and combisystems in middle Europe based on conventional materials (i.e., metals and glass) for the collector. In particular, this cost reduction was possible by all-polymeric piping of the overheating protected solar loop, which allows in contrast to copper pipings for ease of installation and less material costs. Considering the auxiliary heating system, the overall LCOH values could be reduced just by up to 5%. The investigations clearly revealed, that the LCOH values are significantly lower for solar thermal hot water preparation in multi-family houses than for installations in single-family houses. The costs of solar thermal systems for hot water preparation in warm and tropical climate zones, the emerging markets, can be significantly reduced by material transformation from metal/glass to polymers. All-polymeric pumped systems exhibit similar LCOH values compared to market dominating thermosyphon systems. For integrated storage collector systems a cost reduction by 40% is possible by substitution of metals with limited corrosion resistance by plastics. Ultra-low-cost-systems with final customer prices of about 100\$ (excl. installation) are feasible by simple collectors and storages in polymer film or membrane design.

## 2. Einleitung

Solarthermische Systeme werden derzeit hauptsächlich für die Warmwasserbereitung (DHW) und die teilsolare Raumheizung (SH) genutzt. Für diese Anwendungen sind Betriebstemperaturen von maximal 95°C erforderlich. Die Systemkonfiguration betreffend dominieren in Europa, USA oder Australien gepumpte Systeme. Im Gegensatz dazu werden in anderen Regionen (z.B. China, Asien, Südamerika, Südafrika) vornehmlich nicht gepumpte Systeme, insbesondere Thermosiphonsysteme, installiert.

Solarthermie-Technologien werden manchmal als „schlafender Riese“ bezeichnet, da deren Marktpotenzial enorm, aber kaum erschlossen ist (Stryi-Hipp et al., 2012; Holzhaider, 2014). Neben anderen Faktoren sind insbesondere die Kosten bzw. aktuelle Marktpreise wesentliche Hindernisse für eine breitere Marktdurchdringung (Ebert et al., 2012). Der nach wie vor wachsende Markt der nicht-gepumpten Systeme für die Warmwasserbereitung profitiert von kaum verfügbaren Alternativtechnologien. Gepumpte Systeme in Industrieländern stehen im Wettbewerb mit anderen Heizungstechnologien auf Basis von fossilen Brennstoffen oder Elektrizität (inkl. Wärmepumpen). In Kombination mit Wärmepumpen werden derzeit bevorzugt Photovoltaikanlagen installiert.

Um die Kosten solarthermischer Systeme zu senken, konzentrierten sich die Forschungsarbeiten bis 2013 vornehmlich auf die Entwicklung neuartiger Kollektoren und Speichertanks für gepumpte Systeme. Ein Ansatz zur Kostenreduktion von Kollektoren und Warmwasserspeichern lag in der verstärkten Nutzung von Kunststoffen und in der Substitution von Metallen. Im Rahmen des Implementing Agreements Solares Heizen und Kühlen (SHC) der Internationalen Energieagentur (IEA) erfolgten maßgebliche Arbeiten im von 2006 bis 2014 laufenden Task 39 „Polymeric Materials for Solar Thermal Applications“. Wesentliche Ergebnisse von Task 39 sind in zahlreichen Publikationen (z.B. Wallner und Lang, 2006; Burch, 2006; Meir et al., 2008; Meir et al., 2009; Kaiser et al., 2012; Hudon et al., 2012; Köhl et al., 2012; Lang und Wallner, 2012; Reiter et al., 2012; Wallner et al., 2012) und Info Sheets auf der Task 39-Website beschrieben.

„Im Programm Solares Heizen und Kühlen der IEA werden seit 1977 gemeinsame Forschungsaktivitäten im Bereich Solarthermie durchgeführt. Schwerpunkte liegen in der aktiven und passiven Solarenergienutzung zum Heizen und Kühlen in Gebäuden, für industrielle Anwendungen und in der Landwirtschaft“ (Quelle: [www.nachhaltigwirtschaften.at/iea/results.html/id1972](http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea/results.html/id1972)). Ausgehend von der Vision und Mission des SHC Programms eine solare Deckung von 50% des Niedertemperaturheiz- und -kühlbedarfs im Jahr 2050 zu erreichen und weltweit pro Einwohner eine Solarthermie-Kapazität von 5 kW<sub>th</sub> aufzubauen, sind im SHC-Programm der IEA folgende Hauptziele definiert (IEA SHC, 2015):

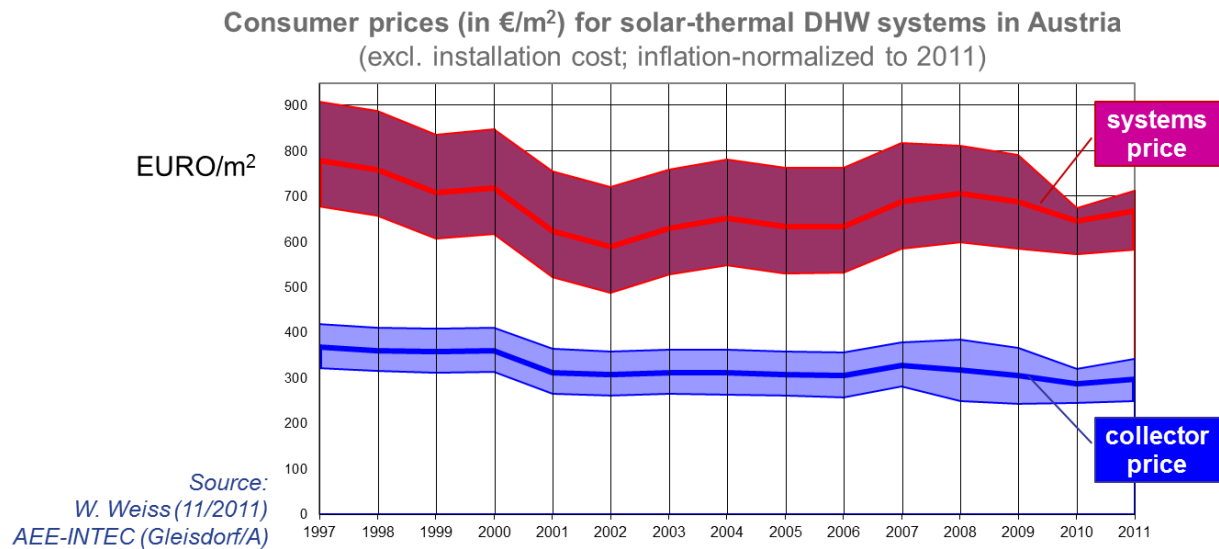
- Bereitstellung von technischen Grundlagen und Analysen zu solaren Heiz- und Kühltechnologien, deren Auslegung und Anwendung.
- Unterstützung bei der signifikanten Verbesserung des Leistungsvermögens von solaren Heiz- und Kühltechnologien.

- Verstärkung der Kooperation zwischen Industrie und öffentlicher Hand zur Steigerung des Marktanteils von solaren Heiz- und Kühltechnologien.
- Unterstützung bei der Weiterbildung von Entscheidungsträgern und der Öffentlichkeit zum Status und Nutzen von solaren Heiz- und Kühltechnologien.

In den abgeschlossenen und aktuell laufenden Tasks (insgesamt 62) des SHC Programmes wurden wesentliche Grundlagen erarbeitet, das Leistungsvermögen von solaren Heiz- und Kühltechnologien signifikant verbessert und ein verstärktes Bewusstsein für die Solarthermie in der Öffentlichkeit geschaffen. Auch die Marktdurchdringung betreffend wurden signifikante Fortschritte erzielt und bis Ende 2017 Solarthermie-Kapazitäten von 472 GW<sub>th</sub> weltweit aufgebaut, was etwa 675 Millionen m<sup>2</sup> an Kollektoren entspricht (Weiß & Spörk-Dür, 2018). In Österreich ist die Einwohner-bezogene installierte Solarthermie-Leistung mit 0,46 kW<sub>th</sub> pro Einwohner weltweit Spitze (nur Barbados weist einen höheren Einwohner-bezogenen Wert auf), jedoch um einen Faktor 12 niedriger als in der Vision und Mission des SHC Programmes definiert (s.o.). 2013 wurde über die Solarthermie etwa 1,2% des weltweiten Energiebedarfs für die Warmwasserbereitung und die Raumheizung von Gebäuden abgedeckt (Weiß & Spörk-Dür, 2018).

Weltweit lagen die Wachstumsraten der Solarthermie in der letzten Dekade bei über 10%. Allerdings ist insbesondere seit 2010 ein Rückgang der Wachstumsrate auf knapp unter 10% für 2014 und mittlerweile 4% für 2016/17 feststellbar. Zudem kam es in den letzten Jahren zu einer signifikanten Verschiebung in der Markt- und Wachstumsrelevanz solarthermischer Systeme. Während der Anteil nicht-gepumpter Systeme für die Warmwasserbereitung anstieg, kam es bei gepumpten Systemen, insbesondere auch in Europa, zu Marktrückgängen. Mittlerweile ist in Fachkreisen anerkannt, dass eine Neubelebung des aktuell rückläufigen Solarthermiemarktes in Österreich und Europa nur durch eine signifikante Reduktion der Gesamtkosten eines Solarthermiesystems für Endkunden gelingt (Lang et al., 2013). Auch bei den nicht-gepumpten Systemen für die Warmwasserbereitung stagnieren derzeit die Wachstumsraten. Mögliche Gründe dafür liegen in nicht-gepumpten Speicherkollektorsystemen mit begrenztem Komfort bei gleichzeitig niedriger Qualität und Zuverlässigkeit marktdominierender Thermosiphonanlagen mit Vakuumröhrenkollektor.

Wie in Abb. 1 verdeutlicht, wurden die Endkundenpreise (exkl. Installation) gepumpter Systeme in Österreich trotz des signifikanten Marktwachstums der Solarthermie kaum gesenkt. In einem ähnlichen Bereich (~ 1000 €/m<sup>2</sup> Kollektor installierten, gepumpten System) liegen auch die Preise in anderen europäischen Staaten (Hafner, 2013). Der Kostensplit (s. Tabelle 1) zeigt, dass die Kollektorkosten weniger als 10% der Gesamtkosten ausmachen. Etwa 40% der totalen Systemkosten entfallen auf andere Systemkomponenten (inkl. Speicher) und 50% auf die Installation. Die Kostenanalyse macht deutlich, dass der in der Vergangenheit verfolgte Ansatz der Kostenreduktion auf Kollektorebene nur wenig zielführend ist. Vielmehr ist ein umfassenderer Entwicklungsansatz mit Fokus auf das Gesamtsystem unerlässlich. Dies stimmt mit Empfehlungen der *European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling* überein (Stryi-Hipp., 2012).



**Abb. 1:** Entwicklung der Kollektor- und Systempreise in (€/m<sup>2</sup>) für die solarthermische Warmwasserbereitung in Österreich.

**Tabelle 1:** Kostenverteilung eines gepumpten Solarthermiesystems für die Warmwasserbereitung (5 m<sup>2</sup> Kollektorfläche, 300 l Speicher)

| Kostenzuordnung     | Kosten<br>in EUR | relative Kosten<br>in % |
|---------------------|------------------|-------------------------|
| Kollektor           | 400.-            | 8                       |
| andere Komponenten  | 2,000.-          | 40                      |
| Installation        | 2,600.-          | 52                      |
| <b>Gesamtkosten</b> | <b>5,000.-</b>   | <b>100</b>              |

Bei nicht-gepumpten Systemen für die Warmwasserbereitung wird eine Vielzahl unterschiedlicher Systemtypen unterschieden, wobei derzeit einfachste drucklose Thermosiphon-1-Kreis-Systeme mit Sydney-Röhrenkollektoren den Weltmarkt dominieren. Die Endkundenpreise für derartige „low-comfort and low-quality“-Thermosiphonsysteme für die Warmwasserbereitung liegen bei etwa 200 € pro System (exkl. Installation). Die Preise für zuverlässigere, druckbeaufschlagte Thermosiphonkollektoren (Fläche zwischen 1,5 und 3 m<sup>2</sup>) oder integrierte Speicherkollektoren (Volumen bis zu 300 l) variieren zwischen knapp 1000 bis zu 3000 € (exkl. Installation). Auch bei zuverlässigen, nicht-gepumpten Systemen ist eine signifikante Preisreduktion in den Bereich um 500 €/System (2 m<sup>2</sup> Kollektor und 150 l Speicher) als Voraussetzung für die Steigerung des Marktanteils unerlässlich.

Ausgehend vom Stand der Technik wurde im Arbeitsplan von Task 54 „Price Reduction of Solar Thermal Systems“ als übergeordnete Gesamtzielsetzung eine zumindest 40%-ige Endkundenpreisreduktion im

Vergleich zu derzeit installierten solarthermischen Referenzsystemen definiert. Dieses Reduktionsziel sollte durch folgende Maßnahmen erzielt werden:

- vereinfachte Systemdesigns
- Reduktion des Materialanteils und Verwendung von kosteneffizienten Material- und Prozesstechnologien
- standardisierte Komponenten (z.B. Kollektor, Speicher) und Subkomponenten (z.B. Rohrverbindungen, Gehäuseteile)
- plug&play Systeme mit vereinfachter Installierbarkeit
- reduzierte Erhaltungs- und Betriebskosten durch Erhöhung der Zuverlässigkeit

Zusätzlich sollten Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität solarthermischer Systeme (z.B. durch kundenorientiertes Design) und zum verbesserten Marketing untersucht werden. Im Zuge der Task Definition wurde vereinbart den Fokus auf solarthermische Systeme für die Warmwasserbereitung und die Raumheizungsunterstützung zu legen. Es wurde eine breite Beteiligung von internationalen Partnern ohne regionale Einschränkung angestrebt. Demzufolge sollten sowohl nicht-gepumpte als auch gepumpte Systeme Gegenstand von Task 54 sein.

Im vorliegenden Bericht werden die Hauptergebnisse von Task 54 dargelegt und diskutiert. Entsprechend der Gliederung von Task 54 werden zuerst die Referenzsysteme vorgestellt und Methoden zur Berechnung von Wärmegestehungskosten (LCOH) erläutert. Danach werden Kostenreduktionsmöglichkeiten für Systeme in Metall/Glasbauweise behandelt und deren Effekt auf die Wärmegestehungskosten beschrieben. Besonderes Augenmerk wurde auf das funktionsorientierte Design (vollständiger Überhitzungsschutz), die Effizienzsteigerung und die Standardisierung gelegt. Abschließend werden die Kostenreduktionspotentiale durch eine werkstoffliche Transformation von Metall/Glas- zu Vollkunststoffsystemen beschrieben.

### **3. Hintergrundinformation zum Projektinhalt**

Zur Definition von Task 54 wurden im April und September 2014 Expertenmeetings am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg im Breisgau (DE) abgehalten. Beim Meeting im April wirkten 19 Experten aus 5 Nationen (Deutschland, Frankreich, Norwegen, Österreich und Slowenien) mit. Österreich war durch JKU-IPMT (Prof. Dr. Gernot M. Wallner) und AEE INTEC (DI Dieter Preiß) vertreten. Zudem wurde von Sunlumo (Ing. Robert Buchinger) eine Interessensbekundung abgegeben. Beim darauffolgenden Definition-Meeting im September, in dem die Grundzüge des Arbeitsprogrammes erstellt wurden, nahmen 20 Experten aus 7 Nationen (Deutschland, Frankreich, Italien, Österreich, Schweden, Slowenien und Türkei) teil, wobei Österreich durch AEE INTEC (DI Dieter Preiß), JKU-IPMT (Prof. Dr. Gernot M. Wallner), Sunlumo (Ing. Robert Buchinger) und UIBK-EEB (Dr. Alexander Thür) vertreten wurde. Diese österreichischen Vertreter lieferten auch maßgeblichen Input bei der folgenden Detailausarbeitung des Arbeitsprogrammes für Task 54. Im Rahmen der Task Definition

wurden Endkundenpreise für gepumpte und nicht-gepumpte Systeme erhoben und Kostenreduktionspotenziale diskutiert. Wesentliche Ergebnisse mündeten in obige Stand der Technik-Beschreibung. Als zentrales Ergebnis resultierte der Arbeitsplan für Task 54. Der Arbeitsplan wurde in weiteren Telefonkonferenzen unter Beteiligung von Norwegen (Dr. Michael Meir), Deutschland (Dr. Stephan Fischer, Dr. Michael Köhl und Sandrin Saile) und Österreich (Prof. Dr. Gernot Wallner) detailliert und verfeinert. In Österreich erfolgte dabei eine enge Abstimmung mit AEE INTEC, Sunlumo und UIBK.

Für Task 54 wurde unter Leitung von Dr. M. Köhl (Operating Agent, Deutschland) eine Untergliederung in vier Subtasks mit folgenden Schwerpunkten und Hauptverantwortlichkeiten bei der Ausarbeitung des Arbeitsplanes vorgenommen:

- Subtask A: Marktrelevante Erfolgsfaktoren und Kostenanalyse (Norwegen, Dr. M. Meir)
- Subtask B: Systemdesign, Installation, Betrieb und Wartung (Deutschland, Dr. St. Fischer)
- Subtask C: Kosteneffiziente Materialien, Produktionsprozesse und Komponenten (Österreich, Prof. G.M. Wallner)
- Subtask D: Information, Know-how-Transfer und Stakeholderkontakte (Deutschland, S. Saile)

In Subtask A wurden 5 Einzelprojekte mit folgenden Inhalten definiert:

- A.1: Definition solarthermischer Referenzsysteme und optimierter Systeme
- A.2: Kostenanalyse von nicht-technischen Kostenfaktoren für Referenzsysteme
- A.3: Umfassende Kostenanalyse (cradle-to-grave) für Referenzsysteme
- A.4: Kostenanalyse von nicht-technischen Kostenfaktoren für optimierte Systeme
- A.5: Umfassende Kostenanalyse (cradle-to-grave) für optimierte Systeme
- A.6: Politische, rechtliche und sozio-ökonomische Randbedingungen
- A.7: Marktrelevante Erfolgsfaktoren

Für Subtask B wurden folgende Einzelprojekte festgelegt:

- B1: Definition standardisierter Komponenten
- B2: Analyse der Herstellkosten für standardisierte Komponenten
- B3: Technische Kosten für Betrieb und Wartung
- B4: Kostenoptimierung für neuartige Systeme aus Subtask A
- B5: Empfehlungen und Vorschläge zur Erreichung von 40%-Preisreduktion

Während sich Subtask B vornehmlich mit herkömmlich verwendeten Materialien und Verfahren und deren Standardisierung beschäftigte, lag in Subtask C der Fokus bei neuartigen Werkstoffen und Verfahren. Subtask C untergliederte sich in folgende Einzelprojekte:

- C1: Identifikation material- und prozesstechnischer Kostentreiber
- C2: Materialsubstitution und Funktionsintegration
- C3: Innovative Kosten-effiziente Prozesse und Komponenten für plug&function Systeme

Subtask D zielte auf die Verbreitung der Ergebnisse und die Einbindung relevanter Stakeholder ab und gliederte sich in die 2 Einzelprojekte:

- D1: Beziehungen mit relevanten Stakeholdern (Industrie, Politik, Gewerbe und Endkunden bzw. Nutzer)
- D2: Dissemination und Information

Die Verbreitung der Ergebnisse von Task 54 erfolgte vornehmlich im Einzelprojekt D2 von Subtask D. Für dieses Projekt wurden folgende Aktivitäten definiert:

- Kontaktaufnahme und Einladung von potenziellen Teilnehmern von wissenschaftlichen Einrichtungen und Unternehmen
- Definition von Interessensgruppen und kontinuierliche Erweiterung und Vervollständigung von Adresslisten
- Erstellung einer Website auf der IEA Plattform, elektronischer Flyer und regelmäßiger Presseaussendungen (3 pro Jahr)
- Erstellung und E-Mail-Verteilung von Newsletters
- nationale Disseminierungs- und Verbreitungstagungen in den Partnerländern
- Erarbeitung und Veröffentlichung von Papers, Konferenzbeiträgen und Info sheets
- Online-Publikationen, bspw. in enger Zusammenarbeit mit [solarthermalworld.org](http://solarthermalworld.org)

Bei den abgeschlossenen und aktuell laufenden 62 Tasks im Solar Heating and Cooling Programme der IEA lag der Fokus vornehmlich bei der Entwicklung und der Implementierung der Solarthermie für unterschiedliche Anwendungen (z.B. Warmwasser, Heizungsunterstützung, Kühlung, industrielle Prozesse, Wärmespeicherung, Trocknung, Beleuchtung). Von den unterschiedlichen Anwendungen hat sich die Solarthermie bisher vornehmlich für die Warmwasserbereitung und teilweise Heizungsunterstützung etabliert. Gerade in diesem Anwendungssegment spielen Kosten- und Preisüberlegungen aktuell weltweit eine bedeutende Rolle. Die Standardisierung und Zertifizierung sowie materialtechnische Fragestellungen betreffend, wurden bisher je 2 bzw. 3 Tasks (Task 43 und 48 sowie Task 10, 18 und 39) abgewickelt, wobei vorrangig versucht wurde die Performance von solarthermischen Komponenten und Systemen zu steigern nicht aber die Endkundenpreise zu senken. In Task 52 standen erstmals energieökonomische Fragestellungen bei Anwendungen im städtischen Umfeld im Vordergrund. Die aktuelle Entwicklung der Solarthermie (weltweiter Rückgang des Marktwachstums) und der absolute Marktrückgang in Regionen (z.B. Europa) verdeutlicht, dass unbedingt auf internationaler Ebene Maßnahmen zu setzen sind, um im 21. Jahrhundert eine vollsolare Energieversorgung zu erreichen.

Eine signifikante Kosten- und Preisreduktion von Solarthermietechnologien wird nur durch intensive Vernetzung und Erfahrungs- und Meinungsaustausch von Experten aus unterschiedlichen Disziplinen und Regionen möglich. IEA SHC Task 54 eignete sich hervorragend dafür. Bedeutsam war auch die Ausweitung der Task auf Länder außerhalb Europas, um gezielt auch Massenmärkte mit hohem Kostenreduktions- und Marktpotenzial miteinzubinden.

In IEA SHC Task 54 nahmen insgesamt 10 Länder teil. In Tabelle 2 sind die Länder und die beteiligten Institutionen (12 wissenschaftliche Partner; 11 Unternehmenspartner) aufgelistet. Die Projektleitung

(Operating Agent) hatte Deutschland inne, vertreten durch Dr. Michael Köhl (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme; Freiburg, D) im Auftrag des Projektträgers Jülich.

**Tabelle 2:** Teilnehmer von IEA SHC Task 54

| Land        | Wissenschaftliche Partner                                                | Unternehmenspartner             |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Österreich  | JKU-IPMT, AEE INTEC, UIBK                                                | Sunlumo, GreenOneTec (selektiv) |
| Australien  |                                                                          | Sunspin                         |
| China       |                                                                          | Linuo Paradigma, Sunrain        |
| Dänemark    | DTU                                                                      |                                 |
| Deutschland | FhG-ISE, FH Ingolstadt, ITW Stuttgart, Uni Kassel, ISFH, WZL RWTH Aachen | KBB, ETP-RHC-Plattform          |
| Frankreich  |                                                                          | TECSOL                          |
| Italien     | Uni Florenz                                                              |                                 |
| Niederlande |                                                                          | Conico                          |
| Norwegen    |                                                                          | Aventa                          |
| Schweiz     | HSR-SPF                                                                  | Swissolar                       |

Für die österreichische Beteiligung in IEA SHC Task 54 wurden folgende methodischen Schritte und dazu gehörige Arbeitspakete definiert:

1. Leitung von Subtask C „Kosteneffiziente Materialien, Produktionsprozesse und Komponenten“ (durch JKU-IPMT) zur Verdeutlichung und Stärkung der Vorreiter- und Führungsrolle Österreichs im Bereich der Solarthermie
2. Teilnahme an transnationalen Task 54-Workshops; aufgrund des interdisziplinären Charakters dieser Forschungsthematik sollten sowohl Partner aus der Solarthermie als auch aus der Werkstofftechnik aktiv mitwirken.
3. Forschungsaktivität zur ganzheitlichen Bewertung kostengünstiger solarthermischer Technologien unter besonderer Berücksichtigung von Kriterien und Prinzipien einer Nachhaltigen Entwicklung.
4. Nationale Vernetzung und Verbreitung der Ergebnisse durch die beteiligten Partner.

Zur Erlangung des gemeinsamen Erkenntnisgewinns erfolgten österreichische Forschungsbeiträge in allen Subtasks von Task 54. Der Schwerpunkt der Aktivitäten lag bei Subtask C „Kosteneffiziente Materialien, Produktionsprozesse und Komponenten“, der auch von Österreich geleitet wurde. In diesen Subtask wurden unter anderem Ergebnisse assoziierter Forschungsprojekte eingebracht. Durch Task 54 wurde die Einbettung der nationalen Forschungsaktivitäten in den internationalen Kontext ermöglicht und wichtiges Feedback und Inputs aus anderen Weltregionen eingeholt. Wesentlich war neben der Einbindung europäischer Partner mit Fokus auf gepumpte Systeme auch die Beteiligung außereuropäischer Partner und Länder in Task 54, in denen meist nicht-gepumpte System marktdominierend sind. Spezifische österreichische Beiträge erfolgten auch in Subtask A (z.B. Systemdefinition) und in Subtask B (z.B. Marktstudie zu standardisierten Komponenten), vornehmlich durch AEE INTEC, Sunlumo und UIBK. Österreichischer Input zu Subtask A beinhaltete neben dem ökonomischen Check der untersuchten solarthermischen Systeme auch eine umfassende und gesamtheitliche Bewertung unter besonderer Berücksichtigung maßgeblicher Kriterien der Nachhaltigen Entwicklung (durch JKU-IPMT). Die internationale Verbreitung der Ergebnisse erfolgte



sowohl durch die wissenschaftlichen Partner (AEE INTEC, JKU-IPMT, UIBK) durch die aktive Teilnahme an Konferenzen und Tagungen und die Erstellung von Publikationen aber auch durch den Unternehmenspartner Sunlumo mit Vor-Ort-Büros in relevanten Solarthermie-Märkten wie China, Indien oder USA.

## **4. Ergebnisse des Projektes**

Am Beginn von Task 54 legten die österreichischen Beteiligten besonderes Augenmerk auf die Beantragung und Implementierung von kooperativen Forschungsprojekten mit industrieller Beteiligung. Es wurde eine Reihe von nationalen und internationalen Forschungsanträgen ausgearbeitet. Begleitend zu Task 54 (inkl. der Definitionsphase) wurden folgende kooperativen, geförderten Forschungsprojekte (drei nationale Projekte) und drei nicht-geförderte, teilweise internationale Projekte mit österreichischer Beteiligung initiiert und etabliert:

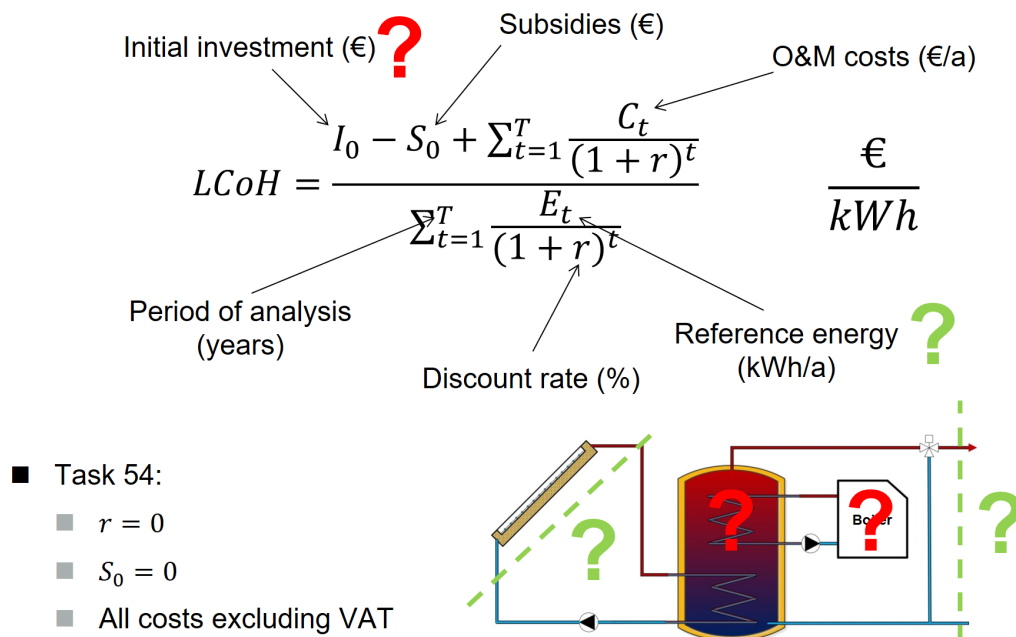
- Solar Thermal Systems based on Polymeric Materials - Novel Pumped and Non-Pumped Collector-Systems (SolPol-4/5; Laufzeit: 2014-2018; Projektleitung: JKU Linz; Fördergeber: KLIEN; Administration: FFG).
- Kostengünstiges Rohrleitungssystem für die Solarthermie (SolarPipe; Laufzeit: 2015-2016; Projektleitung: Sunlumo; Administration/Fördergeber: Land Oberösterreich).
- Plastic components for solar pumps (SolStream; Laufzeit: 2015-2016; Projektleitung: Sunlumo; Administration/Fördergeber: Land Oberösterreich).
- Heat exchangers based on plastics (SolPort; Laufzeit: 2016-2017; Projektleitung: Sunlumo; eigenfinanziert).
- Konzeption einer App zur Überwachung einer Solaranlage (SolCode; Laufzeit: 2016-2017; Projektleitung: Sunlumo; eigenfinanziert).
- Conception and evaluation of an ultra-low-cost polymer film collector for hot water preparation in emerging markets (Laufzeit: 2013-2018; Projektleitung: Sunlap; eigenfinanziert).

Durch die assoziierten kooperativen Forschungsvorhaben war es möglich, in allen Subtasks von Task 54 wesentliche Beiträge einzubringen. Die Schlüsselergebnisse von Task 54 wurden in Form von Informationsblättern (Info-Sheets) oder peer-review Papers, jährlichen Newsletters und Highlights-Berichten, einem Webinar und abschließenden Subtask-Präsentationen bei der EuroSun 2018 (in Rapperswil) und bei der International Sustainable Energy Conference (ISEC 2018; in Graz) veröffentlicht (s. <http://task54.iea-shc.org/publications>). Zur Veranschaulichung und kompakten Visualisierung der Schlüsselergebnisse sind diesem Bericht die bei ISEC 2018 präsentierten Foliensätze im Anhang beigefügt. Im Folgenden sind die Ziele und Projektergebnisse für die Subtasks A bis D dargelegt und diskutiert.

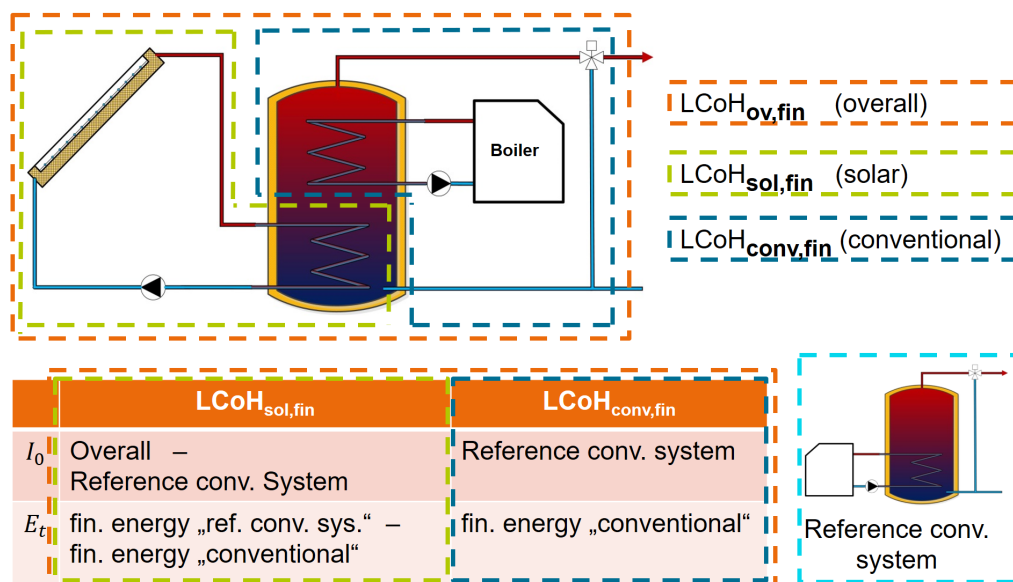
### **Subtask A**

Die Hauptziele von Subtask A lagen bei der Definition von solarthermischen Referenzsystemen, der Analyse der Kostenstruktur dieser Systeme, dem Aufbau eines Tools zur Berechnung von Wärmegestehungskosten und der gesamtheitlichen Bewertung. In Subtask A wurden die Ergebnisse in 17 Info-Sheets und einem peer-review Paper dargestellt, wobei 5 Info-Sheets von Österreich erarbeitet wurden. Die Info-Sheets und das Paper beschäftigen sich mit der Entwicklung und Adaptierung des Tools zur Berechnung der Wärmegestehungskosten, der Beschreibung der Referenzsysteme und der Ermittlung spezifischer LCOH-Werte. Wie in beiliegender Präsentation von AEE INTEC und Uni Kassel

und in Abb. 2 und 3 dargestellt, hängen die LCOH-Werte der Referenzsysteme stark von den Systemgrenzen und Randbedingungen ab.



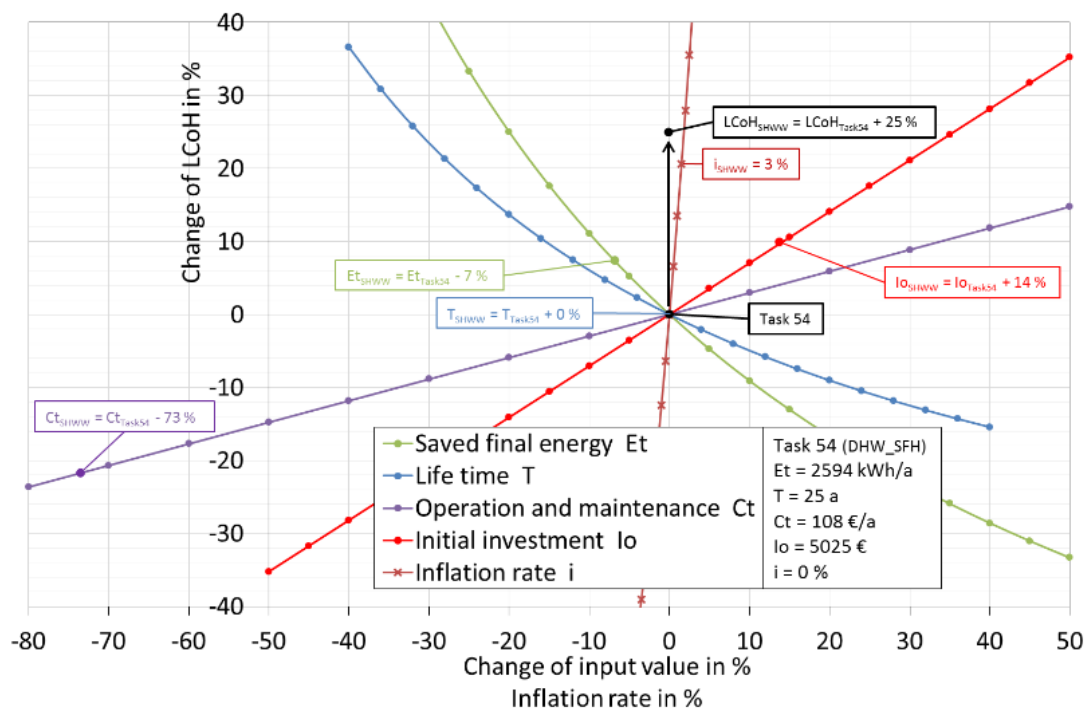
**Abb. 2:** Variablen bei der LCOH-Berechnung, mögliche Systemgrenzen und Annahmen in Task 54.



**Abb. 3:** Systemgrenzen und dazugehörige LCOH-Werte.

Mit dem in Task 54 entwickelten und implementierten Tool (Excel-Macro), das über die Website zum Download zur Verfügung steht, besteht die Möglichkeit die LCOH-Werte für das Gesamtsystem ( $LCOH_{ov,fin}$ ), für den Solarthermieteil des Systems ( $LCOH_{sol,fin}$ ) und für den konventionellen (meist fossilen) Heizungsteil ( $LCOH_{conv,fin}$ ) zu berechnen. Im Gegensatz dazu ist es bei der von Solar Heat Worldwide implementierten Berechnungsmethode nur möglich den LCOH-Wert für den Solarthermieteil zu berechnen. Beim SHW-Ansatz wurde das Zusatzheizsystem nicht berücksichtigt. Zudem bestehen auch Unterschiede bei der Definition des Energieertrags von der Solaranlage. An dieser Stelle soll klar hervorgehoben werden, dass die in Task 54 implementierte Methode komplexer

aufgebaut ist und detailliertere Berechnungen erlaubt, weshalb dieses Tool vorrangig für Experten konzipiert ist. Für einfache, überschlägige Berechnungen sollte bevorzugt der SHW-Ansatz verwendet werden. Bei der Kostenbetrachtung in Task 54 wurden vornehmlich die  $\text{LCOH}_{\text{sol,fin}}$ -Werte für den Solarthermieteil verwendet und verglichen. Je nach Referenzsystemtyp wurden mit dem Tool aus Task 54 vergleichbare, leicht erhöhte oder bis zu 40% niedrigere  $\text{LCOH}_{\text{sol,fin}}$ -Werte erhalten. In Abb. 4 sind die Ergebnisse einer Sensitivitätsanalyse auf die LCOH-Werte dargelegt. Während die Inflationsrate, die eingesparte Endenergie, die Lebensdauer und die Investmentkosten einen starken Einfluss ausüben, wirken sich die Betriebs- und Wartungskosten nur gering aus.



**Abb. 4:** Sensitivität der LCOH-Ergebnisse auf die Einflussfaktoren Inflationsrate, Investmentkosten, Betriebs- und Wartungskosten, Lebensdauer und eingesparte Endenergie.

In Subtask A von Task 54 wurden insgesamt 18 Referenzsysteme in Metall/Glas-Bauweise für 7 Länder definiert. Der Fokus lag bei Ein- und Mehrfamilienhäusern und bei Solaranlagen für die Warmwasserbereitung und/oder Raumwärmebereitstellung. Für 15 der 18 Systeme wurden bisher umfassende LCOH-Berechnungen abgeschlossen und die Ergebnisse in separaten Info-Sheets veröffentlicht. Zentrales Ergebnis der Untersuchungen ist, dass solare Wärmeanlagen für die Warmwasserbereitung in Mehrfamilienhäusern die günstigsten  $\text{LCOH}_{\text{sol,fin}}$ -Werte ( $\sim 5 \text{ c€/kWh}_{\text{th}}$ ) aufweisen und oft unter den Wärmegestehungskosten für Gasheizungsanlagen liegen. Für solare Warmwasserbereitungsanlagen in Einfamilienhäusern ergaben sich  $\text{LCOH}_{\text{sol,fin}}$ -Werte um  $10 \text{ c€/kWh}_{\text{th}}$ . Im europäischen Vergleich ergaben sich für Dänemark und Deutschland eher günstigere Wärmegestehungskosten für die solare Warmwasserbereitung in Einfamilienhäusern und in der Schweiz die mit Abstand höchsten Werte. Möglicherweise sind die Unterschiede auf die Größe des Marktes und lokale Unterschiede im Wettbewerb zurückzuführen. Relativ hohe solare Wärmegestehungskosten um  $15 \text{ c€/kWh}_{\text{th}}$  und damit oft deutlich (+50%) über dem konventionellen (fossilen) Referenzsystem wurden für Kombisysteme abgeleitet. In Task 54 nicht berücksichtigt wurden die stark wachsenden Wärmepumpen-Heizungssysteme kombiniert mit Photovoltaikanlagen. Dazu gab es beim Industrieworkshop in Linz (Oktober 2017) und bei der abschließend Task 54-Vorstellung

bei der ISEC 2018 in Graz eine intensive Diskussion. In Linz wurde von MyPV ein systematischer Kostenvergleich angestellt und für die Warmwasserbereitung durch Wärmepumpe und PV um 30 bis 40% niedrigere Investitionskosten im Vergleich zu solarthermischen Anlagen aufgezeigt. Die Differenz ergibt sich insbesondere durch den höheren Arbeitsaufwand bei der Installation einer thermischen Solaranlage. In weiterführenden Arbeiten sollten kombinierte Wärmepumpe- und Photovoltaikanlagen jedenfalls aufgegriffen und im Detail behandelt werden.

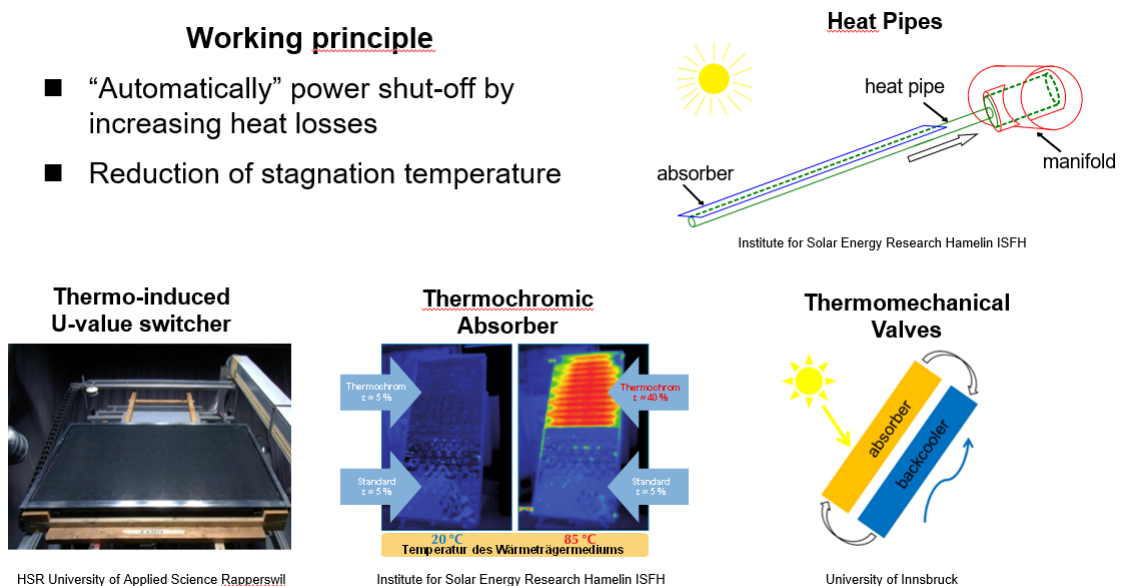
### **Subtask B**

In Subtask B sollten Konzepte zum angepassten Design (insb. Überhitzungsschutz) und zur Effizienzsteigerung von Kollektoren in Metall/Glas-Bauweise und technische Grundlagen zur Standardisierung von Systemkomponenten und einfacheren Installierbarkeit von Kollektorsystemen erarbeitet werden. Das Potential derartiger Maßnahmen zur Reduktion der Wärmegestehungskosten wurde ausgelotet. Dafür wurde die harmonisierte Methode zur Berechnung der Wärmegestehungskosten angewendet. Neuartige Werkstoffe fanden in Subtask B nur indirekt Berücksichtigung. Für vollständig überhitzungsgeschützte Kollektoren wurden Kunststoffrohrleitungen statt einer Kupferverrohrung in Betracht gezogen. In Subtask B wurden die Ergebnisse in bis dato 5 Info-Sheets und zwei peer-review Papers dargestellt. Weitere 18 Info-Sheets befinden sich noch unter Leitung von Deutschland (Dr. Fischer, ITW Stuttgart) in Ausarbeitung und sollen bis Juni 2019 veröffentlicht werden. Von Österreich wurde zu Subtask B ein Info-Sheet und ein Paper erstellt, bei denen das Potenzial zum vollständigen Überhitzungsschutz von Kollektoren durch Temperatur-geschaltete Rückkühlung dargelegt wurde.

Die Effizienzsteigerung der Kollektorsysteme in Metall/Glas-Bauweise ergab sich durch das angepasste Design und den Überhitzungsschutz von Kollektoren (s. Abb. 5). Für den vollständigen Überhitzungsschutz wurden 4 Varianten (Heat pipes, Temperatur-geschaltete konvektive Kühlung, thermochrome Absorber und Rückkühlung durch Nutzung thermomechanische Ventile) untersucht. Durch Vermeidung der Dampfbildung sind Kollektorsysteme spontan betriebsbereit, sobald im Speicher thermische Energie nachladbar ist. Dies erlaubt vornehmlich bei Systemen mit kleinen Speichervolumina signifikant höhere jährliche solare Erträge. Für ein Warmwasserkollektorsystem mit 100 Liter Speicher und Standort Athen sind bei größeren Kollektorflächen (ab 4 m<sup>2</sup>) mindestens 10% höhere solare Erträge möglich. Weitere signifikante Effizienzsteigerungen sind durch Heatpipe-Kollektoren möglich. Durch kleinere Heatpipe-Kollektorflächen bei gleichem Ertrag und Kunststoff- statt Kupferverrohrung lassen sich die Anschaffungskosten einer Warmwasseranlage in Deutschland im Vergleich zum Referenzsystem um etwa 20% reduzieren. Aufgrund der schonenderen Betriebsweise (keine Dampfbildung) ergeben sich auch niedrigere Wartungskosten und eine längere Lebensdauer. Eine konkrete Berechnung der Wärmegestehungskosten erfolgte für ein Heatpipe-Kollektorsystem, das von KBB konzipiert wurde und in Zusammenarbeit mit mehreren Forschungseinrichtungen bis zur Umsetzungsreife entwickelt wurde. Für dieses neuartige Warmwasserkollektorsystem in Deutschland ergaben sich im Vergleich zur Referenz-Solarthermieanlage um 25 bis 35% niedrigere, solare Wärmegestehungskosten von etwa 8 c€/kWh<sub>th</sub>.

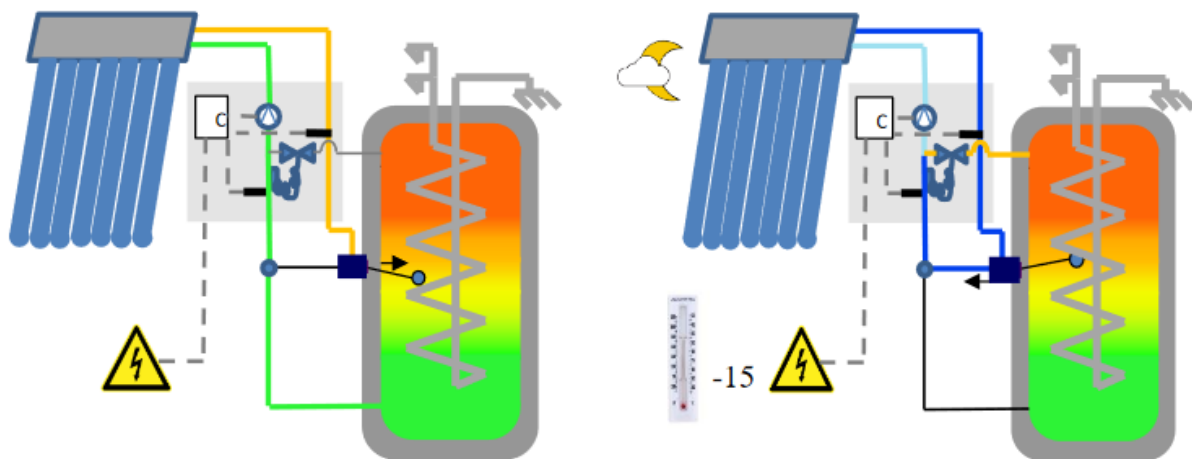
Für das Heatpipe-Kollektorsystem wurden in einem weiteren Schritt Standardisierungsmaßnahmen untersucht. Dabei wurden einheitliche Kollektorgößen, lediglich 2 Varianten an Speichern (ein 300l-Warmwassertank mit Mikrozirkulationsbremse und Energieeffizienzklasse B; ein 800l Kombispeicher mit Energieeffizienzklasse B), ein standardisiertes Montagesystem für die Kollektoren, ein einheitliches Kunststoffrohrsystem für den Solarkreislauf und ein Set von standardisierten hydraulischen

Verbindungsstücken berücksichtigt. Diese Maßnahmen würden eine Senkung der solaren Wärme-gestehungskosten für ein Warmwassersystem in Deutschland um 48% auf  $\text{LCOH}_{\text{sol,fin}} = 6 \text{ c€/kWh}_{\text{th}}$  ermöglichen. Allerdings ergaben sich auch 2 wesentliche Problemfelder. Einerseits wurden die Standardisierungsbestrebungen von den beteiligten Unternehmenspartnern weitgehend abgelehnt. Dadurch würden bestehende Alleinstellungs- und Differenzierungsmerkmale verloren gehen. Insbesondere für kleinere Unternehmen könnte die Standardisierung Existenz-bedrohend sein. Eine Vereinheitlichung und Standardisierung von Kollektorsystemen wird erst wieder bei signifikant wachsenden Märkten angedacht. Andererseits zeigten die Untersuchungen, dass die Kosten-reduktionen auf Gesamtebene (inkl. der erforderlichen Zusatzheizung) kaum durchschlagen. Gesamt-heitlich gesehen könnten die Wärme-gestehungskosten inkl. Zusatzheizung ( $\text{LCOH}_{\text{ov,fin}}$ ) lediglich um weniger als 5% gesenkt werden. Dieser  $\text{LCOH}_{\text{ov,fin}}$ -Wärme-gestehungspreis von  $11 \text{ c€/kWh}_{\text{th}}$  ist für den Endkunden von Relevanz. Weniger der Endkundenpreis, vielmehr aber die ökologischen Benefits (insb.  $\text{CO}_2$ -Einsparung) ließen sich durch die Umsetzung von standardisierten Heatpipe-Kollektorsystemen verändern.



**Abb. 5:** Überhitzungsschutz von Flachkollektoren durch Heatpipes mit organischen Wärmeträgern (KBB, ISFH), Temperatur-geschalteter Hinterlüftung (SPF), thermochromen Absorbern (ISFH) und Temperatur-geschalteter Rückkühlung (UIBK).

Weitere Varianten von kostengünstigeren Kollektorsystemen in Metall/Glas-Bauweise wurden von Dänemark und Niederlande federführend untersucht. Dabei zeigte sich, dass eine ausschließliche Optimierung des Speichers durch funktionsoptimierte Beschichtungseinheiten auf Basis von Folien (aus einem Fluorcopolymer) die solaren Wärme-gestehungskosten nur marginal senkt (weniger als 5%). Im Gegensatz dazu wurde für das von Conico (NL) konzipierte direkte Solarkombisystem mit Vakuumröhrenkollektoren und einem Thermo-Differential-Bypass-Ventil (s. Abb. 6) gezeigt, dass die solaren Wärme-gestehungskosten um 40% durch die konsequente Vereinfachung des Systems (kein Controller, weniger Wärmetauscher, billigere Vakuumröhrenkollektoren (Sydney-Röhren)) reduzierbar sind. Durch dieses Ventil wäre auch ein effizienter Frostschutz der Vakuum-Glasröhren möglich.



**Abb. 6:** Direktes Solarthermiesystem mit Thermo-Differential-Bypass-Ventil im Betriebszustand (links) und im Frostschutzmodus (rechts).

### Subtask C

Entsprechend den Einzelprojekten von Subtask C lagen die Hauptziele bei der Analyse von technologischen Kostensenkungsansätzen in anderen Industriesektoren und deren Übertragung auf die Solarthermie, der Entwicklung und Qualifizierung von neuartigen Werkstoffen (insb. Kunststoffen) und der Auslotung und Bewertung von Verarbeitungsprozessen und neuartigen solarthermischen Systemen in Kunststoffbauweise. In der von Österreich geleiteten Subtask C wurden die Ergebnisse in 3 Info-Sheets und 7 peer-review Papers dargestellt. Die Arbeiten in Subtask C waren Wissenschaftsgetrieben, wodurch sich die hohe Anzahl an peer-review Publikationen im Vergleich zu den anderen Subtasks erklärt.

In Subtask C wurden anfangs Kostentreiber für solarthermische Systeme analysiert und durch Werkstoff-Transformation induzierte Kostenreduktionspotenziale herausgearbeitet. Dabei wurde anhand eines für die Solarthermie-relevanten Bauteils (Pumpe) aus einem anderen Industriebereich (Papierindustrie) aufgezeigt, welche Kostenreduktionen durch Werkstoffsubstitution erreichbar sind. Für die in Abb. 7 gezeigte Pumpe wurden signifikante Kostenreduktionen durch die Substitution von Metall- durch Kunststoffteile erzielt. Kunststoffe erlauben eine hoch- und kosteneffiziente Fertigung, eine Integration unterschiedlicher Funktionen in ein Bauteil, eine Reduktion der Anzahl der zu assemblierenden Bauteile und beim Endanwender eine schnellere Wartung. Letztlich kommt bei diesem Anwendungsfeld auch die bessere Korrosionsbeständigkeit im Vergleich zu Metall-Druckguss zu tragen. Für die Wirtschaftlichkeit von hoher Relevanz ist die adäquate Auswahl von Fertigungsverfahren in Abhängigkeit von den Stückzahlen. Für das spezifische Anwendungsbeispiel wurde klar aufgezeigt, dass bei Stückzahlen bis zu 10.000 pro Jahr das sogenannte LFT-Verfahren (Langfaser-verstärkter Thermoplast) kosteneffizienter ist. Erst bei höheren Stückzahlen beginnen sich die höheren Investitionskosten für ein Spritzgusswerkzeug zu rechnen. Aus diesem Beispiel wurde für die Solarthermie ein hohes Potential für die Fertigung von Druck-beaufschlagten Hohlkörpern gefolgert und die Entwicklung eines Kunststoffspeicherkollektors vorgeschlagen. Darauf aufbauend wurde von GreenOneTec ein Funktionsmuster realisiert und die hohe Wirtschaftlichkeit (insbesondere durch die Reduktion der zu assemblierenden Teileanzahl von über 100 auf unter 10 (> Faktor 10!)) nachgewiesen.



**Abb. 7:** LFT-Pressverfahren (links) zur Herstellung von großvolumigen Pumpenteilen (rechts) in der Papierindustrie.

In einem weiteren Schritt wurden Belastungsprofile (Temperatur- und Druckverteilung) für unterschiedliche Komponenten solarthermischer Systeme ermittelt und Leistungsanforderungen für Materialien definiert. Dabei wurden insbesondere gepumpte und nicht-gepumpte Systeme mit Temperaturbegrenzung auf Kollektorebene berücksichtigt (Maximaltemperatur je nach Kollektor- und Systemtyp zwischen 90 und 130°C). Durch die Temperaturbegrenzung ergab sich ein hohes Einsatzpotenzial für Polymerwerkstoffe, die sich wiederum durch ein breites, gezielt einstellbares Eigenschaftsprofil, massentaugliche und stückkostengünstige Fertigungsverfahren oder hohe Designfreiheit bei der Bauteilgestaltung auszeichnen. Anhand von ausgewählten Beispielen (Polypropylen (PP), glasfaserverstärktes Polyamid (PA-GF), Polyphenylensulfid (PPS) für Absorber in gepumpten oder nicht-gepumpten Systemen) wurde die hohe Leistungsfähigkeit von Kunststoffen aufgezeigt und erstmals eine Lebensdauerabschätzung vorgenommen. Dazu wurden 2 unterschiedliche Methoden implementiert, eine für Absorber mit geringer Innendruckbelastung (reine Medien- und Temperaturbelastung) und eine andere für Absorber mit hoher Innendruckbelastung (überlagerter Einfluss von Medien, Temperatur und mechanischen Lasten). Gemeinsam mit den Unternehmenspartnern Borealis, Radici und Chevron Philips (nunmehr: Solvay) wurden für jede Werkstoffklasse spezifische Typen ausgewählt, modifiziert bzw. optimiert und bezüglich der Langzeitbeständigkeit charakterisiert. Auf diese Weise wurde eine neuartige PP-Type für Absorber von überhitzungsgeschützten Kollektoren mit geringen Innendrücken (< 2 bar), mehrere Glasfaser-verstärkte PA-Typen für Druck-beaufschlagte Speicherkollektoren mit Drücken bis 6 bar bei Temperaturen bis zu 95°C und eine PPS-Type für nicht-überhitzungsgeschützte Absorber in Drainback-Systemen (mit geringen Überdrücken) für die Solarthermie qualifiziert und Lebensdauern von 15 bis über 40 Jahren (je nach Standort und Anwendungsfall) nachgewiesen. Hiermit steht nunmehr ein Portfolio von qualifizierten Kunststoffen für Absorber von unterschiedlichen Flachkollektor- und Systemtypen zur Verfügung. Details zu den Methoden und spezifische Ergebnisse sind in den wissenschaftlichen Papers von Subtask C im Detail beschrieben. Highlights dazu sind im Foliensatz zu Subtask C im Anhang dargelegt.

Unter Verwendung der implementierten Absorberkunststoffe wurden von Österreich, Deutschland und Norwegen unterschiedliche Vollkunststoffsysteme (überhitzungsgeschütztes, gepumptes System (Sunlumo (AUT) bzw. Roth Werke (DE)); nicht-überhitzungsgeschütztes, gepumptes System (Aventa (NOR)) und nicht-gepumptes, direktes Speicherkollektorsystem (GreenOneTec (AUT)); Thermo-siphonsysteme mit PP-Flachkollektor (Aventa (NOR), Magen (ISR)) konzipiert, entwickelt, implementiert und Funktionsmuster vermessen. In Abb. 8 sind beispielhaft das Sunlumo- und das Aventa-System samt Kunststoffkomponenten gezeigt.



## Solar-thermal systems – Domestic Hot Water

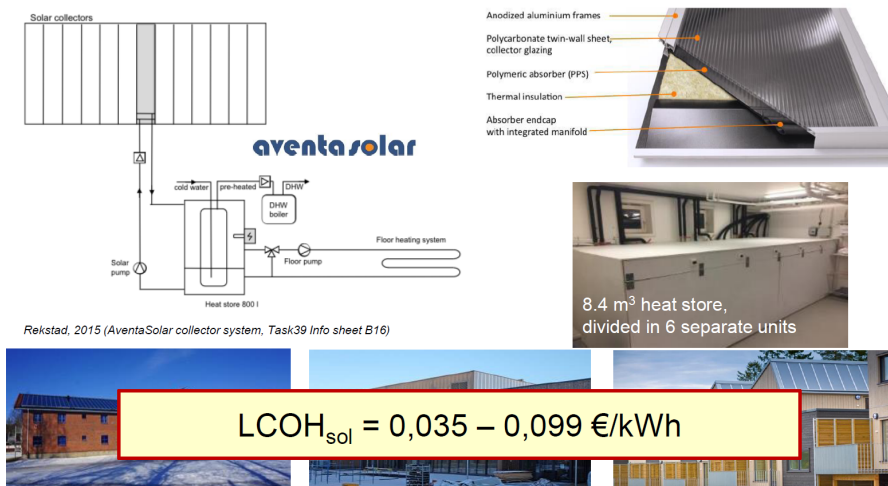
### SUNLUMO – PUMPED “LOW PRESSURE” SYSTEM



$$LCOH_{sol} = 0,01 - 0,03 \text{ €/kWh, if } > 100.000 \text{ systems/year}$$

## Solar-thermal systems – Hot Water & Space Heating

### AVENTA SOLAR – PUMPED DRAINBACK SYSTEM



**Abb. 8:** Kunststoff-Warmwasserbereitungssystem von Sunlumo (oben) und Kunststoff-Kombisystem von Aventa (unten).

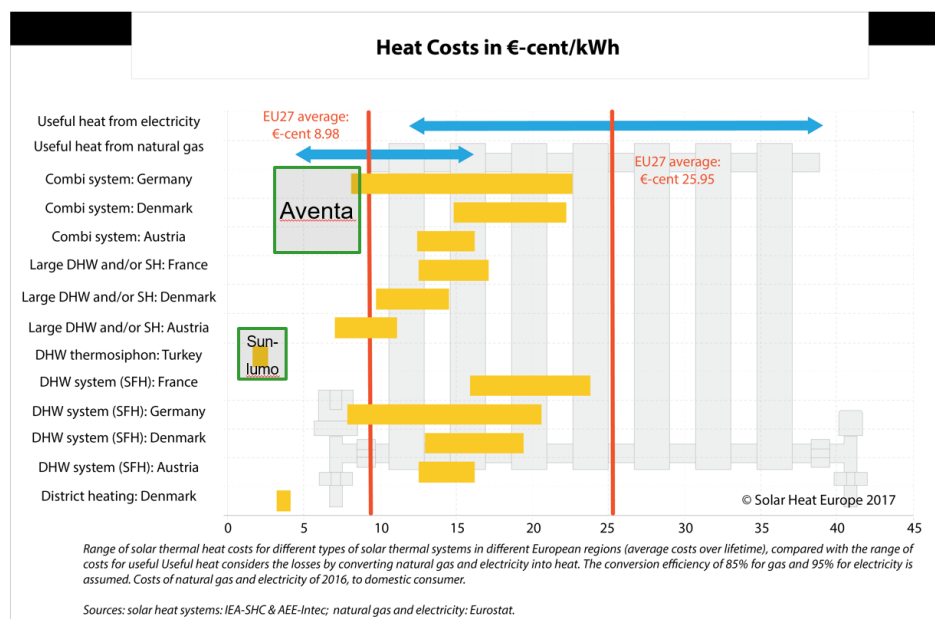
Die Systeme wurden in unterschiedlichem Detaillierungsgrad untersucht. Roth-Werke (DE) und Magen (ISR) führten aufgrund aufwändiger Fertigungsverfahren für den Kunststoffkollektor mit partiellem Überhitzungsschutz, fehlendem Nachweis der Funktionstauglichkeit (z.B. Überdruckproblem beim Magen-Kollektor mit Röhrchenabsorber oder Fokus auf Märkte mit negativen Wachstumsraten (z.B. Deutschland) die Entwicklungen nicht bis zur Umsetzungsreife. Für den Kunststoffspeicherkollektor von GreenOneTec und den PP-Thermosiphonkollektor von Aventa wurden Herstellkosten-Relativvergleiche mit Kollektoren in Metall/Glas-Bauweise ausgearbeitet. Dabei zeigte sich, dass insbesondere durch die Reduktion der zu assemblierenden Teilezahl, die automatisierbare Fertigung, durch Leichtbau und Materialkosteneinsparungen die Herstellkosten um bis zu 40% reduzierbar sind.

Solare Wärmegestehungskosten wurden für das Warmwasserbereitungssystem von Sunlumo und das Kombisystem von Aventa abgeleitet (s. Abb. 8 und 9). Von Sunlumo wurden für das gepumpte



Vollkunststoffsystem für die Warmwasserbereitung je nach Standort und Konfiguration solare Wärmegestehungskosten von 1 bis 3 c€/kWh ermittelt. Entsprechend der Hauptzielsetzung von Sunlumo wurden diese Werte ausschließlich für Warmwasserbereitungssysteme in warmen Klimazonen (der derzeitige Massen- und Wachstumsmarkt) erreicht. Dafür sind kleine Kollektorflächen (2 bis 4 m<sup>2</sup>) erforderlich, die sich kostengünstig durch modular assemblierbare Kunststoff-Rahmenkollektoren realisieren lassen. Die Rasterfläche des Sunlumo-Kollektors wurde auf etwa 1 m<sup>2</sup> speziell für diese Anwendung optimiert. Ein wesentlicher Vorteil kleinerer, modularer Kollektoren ist die Leichtbau-Rahmen- und Montagekonstruktion (in Vollkunststoffbauweise) und damit das Potential zur vollständigen Substitution von Energie-intensiven Aluminiumprofilen. Wie in Abb. 9 dargelegt steht das Sunlumo-Warmwassersystem in Wettbewerb mit Thermosiphonanlagen. Das Kunststoff-basierende Warmwassersystem von Sunlumo ist kostenmäßig mit konventionellen Thermosiphonsystemen vergleichbar.

### Comparison of LCOH – Impact of new materials (D C.7)



**Abb. 9:** Vergleich der solaren Wärmegestehungskosten der untersuchten Voll-Kunststoffsysteme von Sunlumo und Aventa mit etablierten solarthermischen Systemen in Metall/Glas-Bauweise und herkömmlichen Heizungssystemen (Gas und Strom).

Die wesentlichen Vorteile bestehen jedoch in der hohen Design- und Gestaltungsfreiheit (z.B. variable Anordnung des Speichers) und der Leichtbautaughlichkeit (Speicher muss nicht am Dach positioniert sein). Die geringen Wärmegestehungskosten des Sunlumo-Systems sind aufgrund der Investitionen für Anlagen und Maschinen nur bei hohen Stückzahlen (> 100.000 pro Jahr) realisierbar. Als untere Grenze für den Verkaufspreis (exkl. Installation) wurden von Sunlumo 180\$ berechnet. Radikale Preissenkungen (z.B. 100\$-Systeme) wären nur durch völlig neuartige Ansätze, wie Folien- oder Membrankollektorsysteme (z.B. Konzept Suntap) möglich.

Für die Kunststoff-basierenden, teilsolaren Raumheizungssysteme der Firma Aventa (NOR) ergaben sich solare Wärmegestehungskosten von 4 bis 10 c€/kWh<sub>th</sub> (s. Abb. 9). Dies ist um etwa 40 bis 50% niedriger als bei vergleichbaren Systemen in Metall/Glas-Bauweise. Der größte Kostenhebel des Aventa-Systems liegt bei der vollständigen Substitution und Integration von Kollektoren in die

Fassaden- oder Dachstruktur. Dies ist insbesondere mit endlos gefertigten (extrudierten) Kollektoren mit individuell anpassbarer Länge und definierter Breite möglich. Dafür sind inhärent brandbeständige Materialien (z.B. PPS für den Absorber und Polycarbonat (PC) für die transparente Abdeckung) erforderlich. Die volle Leistungsfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit wurde von Aventa im Rahmen mehrerer Demonstrationsprojekte in Ein- und Mehrfamilienhäusern in Norwegen nachgewiesen.

#### **Subtask D**

Das Hauptziel von Subtask D lag in der Verbreitung der Ergebnisse von Task 54 und der Einbindung relevanter Stakeholder. Dazu wurde eine Reihe von Maßnahmen gesetzt. Um die Kosten bestehender Systeme und aktuelle Trends in der Heizungsbranche zu erheben, wurde ein Fragebogen ausgearbeitet und an Stakeholder in den beteiligten Ländern versendet. Von über 500 Adressaten wurde eine Rückmeldung mehr als 100 Unternehmen erhalten. Daraus wurden die LCOH-Werte für die bestehenden Systeme abgeleitet. Die Erhebung ergab, dass die Solarthermie in Mitteleuropa bei den Energieberatern nach wie vor zu den führenden Technologien zählt und komplementär zum konventionellen Heizsystem empfohlen wird. Allerdings sind viele Vorbehalte der Endkunden festzustellen (technische Probleme, abnehmendes Image, unklare Förderbedingungen). Zur Promotion der Solarthermie wurde in Task 54 eine Zusammenarbeit mit der Initiative „Heat Changers“ etabliert. Die Einbindung relevanter Unternehmen in Task 54 gelang über mehrere nationale Projekte der beteiligten Länder. Aus österreichischer Sicht ist insbesondere das vom KLI:EN geförderte Leitprojekt SolPol-4/5 hervorzuheben.

Zur Verbreitung der Ergebnisse wurde die Task 54-Website erstellt und kontinuierlich upgedatet. Zudem wurde ein Twitter-Account mit mehr als 150 Followern angelegt. Die Ergebnisse wurden durch jährliche Newsletters, Highlights- bzw. Tätigkeitsberichte, 25 Info-Sheets und 10 peer-review Papers und ein Webinar kommuniziert. Die österreichische Idee einer nationalen Verbreitungstagung wurde auch von Deutschland und Frankreich aufgegriffen und jeweils im Anschluss an das Experts Meeting mit knapp 100 Teilnehmern 2016 in Deutschland, 2017 in Österreich und 2018 in Frankreich abgehalten. Letztlich war Task 54 durch eigene Sessions bei 4 internationalen Konferenzen (SHC 2017 in Abu Dhabi (UAE), OTTI 2018 in Bad Staffelstein (DE), EuroSun 2018 in Rapperswil (CH) und ISEC 2018 in Graz (AUT) vertreten. Bei EuroSun und ISEC 2018 wurden die Hauptergebnisse von Task 54 und der Subtasks in 5 bis 6 Vorträgen präsentiert. Die Foliensätze der Session bei ISEC 2018 sind im Anhang angeführt.

## **5. Vernetzung und Ergebnistransfer**

Zur österreichischen Zielgruppe von IEA SHC Task 54 gehörten insbesondere:

- Facheinschlägige Unternehmen aus den Bereichen
  - o Solarthermie (Komponenten- und Kollektorhersteller; Systemanbieter)
  - o Kunststofftechnik (Kunststofferzeugende und –verarbeitende Industrie)
- Forschungs- und Bildungseinrichtungen
- Unabhängige oder öffentliche Institutionen (Branchenverbände wie Austria Solar oder Kunststoff-Cluster)

Zur Einbindung der Stakeholder in das Projekt wurden die jährlich erschienenen Newsletter von IEA SHC Task 54 über die Adressdatenbanken von AEE INTEC, JKU-IPMT und dem Kunststoff Cluster

Oberösterreich an über 10.000 Adressaten verteilt. Zudem wurde die Task 54-Website über die Webseiten der Projektpartner AEE INTEC und JKU-IPMT verlinkt. Pro Jahr erschienen 2 bis 3 Veröffentlichungen von Task 54 in fach einschlägigen Zeitschriften und Tagungshandbüchern (z.B. Gleisdorf Solar 2016, ISEC 2018, Symposium Thermische Solarenergie 2017, Energy Procedia, Applied Energy, Solar Energy). Hervorzuheben ist das Tagungshandbuch der ISEC 2018, in dem mehrere Artikel zur Kostenreduktion in der Solarthermie veröffentlicht werden. In Task 54 wurden drei nationale Verbreitungstagungen in Gleisdorf (2016), an der JKU Linz (2017) und Graz (2018) abgehalten:

- 8. - 10. Juni 2016: Gleisdorf Solar – Session: Komponenten- und Systementwicklungen / kostengünstige Entwicklungen der Solarthermie (2 Vorträge und 5 Poster)
- 4. Oktober 2017: Kosteneffiziente solarthermische Systeme (13 Vorträge)
- 5. Oktober 2018: ISEC Graz – Session: Price reduction of solar thermal systems – results of IEA SHC Task 54 (6 Vorträge)

Bei der Gleisdorf Solar 2016 nahmen mehr als 400 Personen aus europäischen und außereuropäischen Ländern teil. In 2 Vorträgen und 5 Poster wurden die spezifischen Ergebnisse von Task 54 im ersten Projektjahr vorgestellt. Der Schwerpunkt lag bei neuartigen Kunststoffen für Kollektoren. In je 2 Vorträgen wurde auf Speichieranwendungen und systemische Fragestellungen eingegangen. Mit einer Ausnahme (Verteter von TiSun) ergab die Diskussion des präsentierten Task 54-Ergebnisse eindeutig, dass werkstoffliche Innovationen und damit verbundene Faktoren wie hoher Vorfertigungsgrad, Vereinfachungen in der Installierbarkeit und Reduktion der Fehleranfälligkeit Dreh- und Angelpunkt für die Preisreduktion von Solarthermiesystemen sind.

Im Oktober 2017 wurde an der JKU Linz eine eintägige Verbreitungstagung zum Thema „Kosteneffiziente solarthermische Systeme - IEA SHC Task 54 zur Kostenreduktion durch Standardisierung und Kunststoffe“ abgehalten. Dabei wurde einerseits das erarbeitete Know-how zu kunststoffbasierenden Kollektoren und Systemen vorgestellt und andererseits ein Ein- und Ausblick zur Standardisierung von Systemen gegeben. Deren Kostensenkungspotenzial wurde durch die Berechnung der Wärmegestehungskosten im Vergleich zu konventionellen Systemen exemplarisch aufgezeigt. In den vier Sessions wurde zuerst auf die kooperative Forschung und Entwicklung (IEA und SolPol), auf gepumpte Systeme aus Polyolefinen, auf nicht-gepumpte Systeme aus Kunststoff und auf neuartige, standardisierte Systeme eingegangen. Neben dem Operating Agent und den Subtask-Leitern wurden Fachvorträge zum nationalen Projekt SolPol-4/5 gehalten und aktuelle Forschungsaktivitäten in Deutschland, Norwegen und Schweiz vorgestellt. Die Vorträge wurden über die Websites [www.jku.at/ipmt](http://www.jku.at/ipmt) und [task54.iea-shc.org](http://task54.iea-shc.org) veröffentlicht. Zudem wurde ein Interview mit Dr. Wallner für die Zeitschrift SONNE WIND & WÄRME gemacht.

Im Rahmen der ISEC 2018 wurde eine eigene Session zu „Price reduction of solar thermal systems – results of IEA SHC Task 54“ organisiert und die Highlights der Task in 6 Vorträgen zusammenfassend dargelegt. An dieser Session nahmen etwa 40 Personen teil. Die Vorträge wurden über die Task 54 Website veröffentlicht und sind im Anhang angeführt.

Durch die Beteiligung von Österreich in Task 54 wurde die österreichische Vorreiterrolle auf dem Gebiet der Solarthermie signifikant gestärkt und ausgebaut. Einerseits gelang es in Österreich ein assoziiertes Leitprojekt (SolPol-4/5) zu etablieren, in denen im Konsortium mit 10 Unternehmenspartnern und 7 wissenschaftlichen Partnern bahnbrechende Ergebnisse erzielt wurde. Beispielsweise wurde als Spin-off die Nullserie für Kunststoffkollektorsystem für die Warmwasserbereitung in Emerging Markets (von Sunlumo) realisiert. Zudem hat GreenOneTec ein Funktionsmuster eines

Kunststoff-Speicherkollektorsystems mit 40% niedrigeren Herstellkosten erarbeitet. Für beide Systemtypen wurden optimierte Kunststofftypen für solarthermische Absorber entwickelt und kommerzialisiert, die im Vergleich zu den Benchmark-Materialien eine Vervielfachung der zu erwartenden Lebensdauer ermöglichen. Die neuartigen Materialien (von Borealis und Radici) werden bereits kommerziell für Kunststoffabsorber und Komponenten von Speicherkollektoren verwendet. Durch die Task 54-Beteiligung wurde eine Vielzahl neuer Ideen und Ansätze für konkrete Produktentwicklungen nukleiert (z.B. Suntap Ultra-low-cost-Folienkollektor) und erste weiterführende Forschungs- und Kooperationsprojekte (insb. mit Frankreich und Afrika) initiiert.

Neben dem kommerziellen Nutzen der österreichischen Task 54-Beteiligung, ergaben sich auch für die wissenschaftlichen Partner signifikante Vorteile. Hervorzuheben sind neben Bachelor- und Masterarbeiten vier abgeschlossene Dissertationen an der JKU (Klaus-Jakob Geretschläger, Leila Maringer, Michael Grabmann, Patrick Bradler). Aus den Dissertationen gingen mehr als 15 Papers in referierten Journalen hervor, die ein klarer Beleg für die österreichische Vorreiterrolle auf dem Gebiet der Kunststoffe für die Solarthermie sind.

Ein wesentlicher Vorteil der IEA-Beteiligung war die erfolgreiche Vernetzung österreichischer Akteure mit Partnern aus anderen IEA-Ländern. Eine kritische Masse ist insbesondere für die Neuentwicklung von Werkstoffen unerlässlich. Erst nach Nachweis eines hohen weltweiten Marktpotenzials gehen international agierende Unternehmen der Kunststoffbranche das Risiko der industriellen Umsetzung von neuen Materialien ein.

## **6. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen**

Durch die IEA SHC Task 54-Beteiligung und die Übertragung der Projektergebnisse auf nationale Forschungsprojekte wurde die österreichische Vorreiterrolle auf dem Gebiet der Kunststoff- und Solarthermie-Technologien signifikant gestärkt und die existierende weltweite Spitzenposition Österreichs in diesem Technologiefeld durch teilweise bereits umgesetzte Neuentwicklungen sichergestellt bzw. ausgebaut. Von den österreichischen Partnern wurde klar herausgearbeitet, dass eine Kostenreduktion bei gleichzeitiger Verbesserung der Funktionsweise und einer Skalierbarkeit zu massentauglichen Solarthermieranlagen nur durch eine werkstoffliche Transformation von derzeit hauptsächlich verwendeten anorganischen Materialien zu organischen Kunststoffen möglich ist. Kosteneffizienz ist derzeit vornehmlich bei einfach-aufgebauten Warmwasserbereitungssystemen für den Massenmarkt in warmen Klimazonen gegeben. Dennoch ist auch in diesem Bereich noch eine Weiterentwicklung zu ultra-low-cost-Systemen mit Endkundenpreisen (exkl. Installation) von etwa 100\$ erforderlich. In einer österreichisch-amerikanischen Konzeptstudie (von Suntap) wurde klar aufgezeigt, dass dieser nächste Schritt beispielsweise durch Kunststofffolien- oder Laminatmembranansätze zu realisieren ist. In diesem Bereich besteht hoher Entwicklungsbedarf, wobei die Einbindung der Rohstoffindustrie (insb. aus dem Bereich der Kunststoffe) unbedingt erforderlich ist. Wie von China durch Verknüpfung der Solar- mit der Glasindustrie gezeigt, sind massentaugliche Systeme nur durch enge Kooperation entlang der Wertschöpfungskette umsetzbar. Zur Weiterentwicklung und Umsetzung von solaren ultra-low-cost-Warmwasserbereitungsanlagen für Einfamilienhäuser (in Mexiko liegt die Wohnfläche eines typischen Einfamilienhauses bei lediglich 40 m<sup>2</sup>), sind internationale Kooperationen und eine Verstärkung und Intensivierung der Zusammenarbeit mit den Wachstumsmärkten außerhalb Europas erforderlich. Österreich und Frankreich arbeiten derzeit ein Konzept für die Etablierung eines weiterführenden Task für Solarthermie-Warmwasseranlagen für Emerging

Markets aus. Ein derartiger Task erscheint nur bei erfolgreicher Einbindung von Emerging Market-Ländern (z.B. Mexiko (IEA-Mitglied seit 2018)) sinnvoll. Mit Ausnahme von Mexiko sind derzeit allerdings keine anderen Schwellenländer Mitglied der IEA. Deswegen werden auch andere Kooperationsprogramme auf transnationaler Ebene (z.B. Eurostars) ausgelotet.

Bei den in Europa dominierenden Kombisystemen oder reinen Warmwassersystemen ist durch Effizienzsteigerung, angepasstem Design (insb. Überhitzungsschutz) und Standardisierung eine 40%ige Senkung der solaren Wärmeegestehungskosten möglich. Ein beträchtlicher Anteil entfällt dabei auf einfach-installierbare Kunststoffrohrsysteme für den Solar- und Heizungskreislauf. Die verbesserten Kollektoren in Metall/Glas-Bauweise würden sogar teurer. Das ermittelte solare Kostenreduktionspotenzial von weiterentwickelten Warmwasser- und Kombisystemen mit Metall/Glas-Kollektoren wirkt sich durch die derzeit noch zwingend erforderliche Kombination mit einem konventionellen Zusatzheizsystem kaum auf die gesamten Wärmeegestehungskosten aus. Das Reduktionspotenzial bei den Gesamt-Wärmeegestehungskosten liegt bei lediglich bis zu 5%. Für derartige Systeme für Einfamilienhäuser in Mittel- und Nordeuropa wurde klar herausgearbeitet, dass höhere Kostenreduktionen nur durch vollständige Integration des Kollektors in die Gebäudehülle und durch Ersatz von konventionellen Fassaden- oder Dachbaustoffen möglich ist. Interessanterweise eignen sich extrudierte und in der Länge einfach adaptierbare Profile aus flammgeschützten Kunststoffen, wie Polyphenylensulfid für den Absorber und Polycarbonat für die transparente Abdeckung (Konzept Aventa (NOR)), bestens für die Realisierung von Gebäude-integrierten-Solarthermieanlagen. Ein wesentlicher Hemmschuh für die Umsetzung derartiger Technologien ist, dass die europäische Solarthermieindustrie fast ausschließlich Metall- und Glastechnologien verwendet und durch den schrumpfenden Markt sehr eingeschränkte Möglichkeiten zur Umsetzung von Innovationen hat. Zur Weiterentwicklung des LCOH-Berechnungstools in Richtung Anwendbarkeit für unterschiedlichste Energiedienstleistungen wurde vom Operating Agent eine weiterführende IEA Working Group vorgeschlagen. Die österreichischen Partner bekundeten kein Interesse an der Mitwirkung in einer LCOH-Working Group.

Durch die Kostenanalyse von europäischen Solaranlagen wurde nachgewiesen, dass die niedrigsten Wärmeegestehungskosten im Bereich der solaren Warmwasserbereitung mit herkömmlichen Technologien bei Mehrfamilienhäusern möglich sind. Demzufolge sollten die politischen Rahmenbedingungen und Förderprogramme so angepasst werden, dass Solarthermie bevorzugt im Bereich der Mehrfamilienhäuser zur Anwendung kommt. Solarthermische Großanlagen für die solare Nah- und Fernwärmeversorgung wurden in Task 54 nicht eingehend untersucht. Aktuelle Entwicklungen (bspw. in Dänemark) und Ergebnisse von Task 55 zeigen, dass Großanlagen für die Wärmeversorgung von Siedlungen oder in der Industrie ein hohes Potenzial zur Reduktion der Wärmeegestehungskosten und zur Substitution fossiler Energieträger haben. Demzufolge ist die Weiterentwicklung von hoch-effizienten Flachkollektoren in Metall/Glas-Bauweise insbesondere für dieses Marktsegment zu empfehlen. Ein Problemfeld der Großanlagen ist die saisonale Speicherung und bedarfsgerechte Bereitstellung der Solarwärme. Von den wissenschaftlichen, österreichischen Partnern in Task 54 (AEE INTEC, JKU-IPMT und UIBK) wurde daher auf Basis der Erkenntnis dieser Task ein Leitprojekt zur Entwicklung von giga-skaligen Großwarmwasserspeichern initiiert und gestartet (Projekt giga\_TES). In diesem Projekt wird besonderes Augenmerk auf kosteneffiziente Speicherbauweisen und multifunktionale Komponenten (z.B. heterolithische Speicherwand aus Stahlbeton und Kunststoff) gelegt.

## 7. Verzeichnisse

### Literaturverzeichnis

- Burch, J.D. (2006). Polymer-based solar thermal systems: Past, present and potential products, ANTEC 2006, 1877-1881.
- Ebert, V., Günther, R., Kremer, Z., Pajor, R., Bauer, D., Drück, H., Sommer, K., Jahnke, K. (2012). Fahrplan Solarwärme – Strategie und Maßnahmen der Solarwärme-Branche für ein beschleunigtes Marktwachstum bis 2030, Bundesverband Solarwirtschaft, Berlin (D).
- Hafner, B. (2013). Wie können europäische Hersteller und Handwerker die Solarwärme voranbringen?, Presentation at DSTTP 2013 Conference, Berlin.
- Holzhaider, (2014). Renewable Energy Scenarios and Potentials for Plastics in Solar Thermal and Photovoltaic Systems, Masterarbeit, KF Universität Graz und JKU Linz.
- Hudon, K., Merrigan, T., Burch, J., Maguire, J. (2012). Low-Cost Solar Water Heating Research and Development Roadmap, Technical Report NREL/TP-5500-54793, Golden.
- IEA SHC (2015). Annual Report 2014, [www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org).
- Kaiser, A., Fink, C., Hausner, R., Streicher, W., Lang, R.W., Wallner, G.M. (2012). Leistungsanforderungen an Polymermaterialien in solarthermischen Systemen, Proceedings of Gleisdorf Solar, 296-306.
- Köhl, M., Meir, M.G., Papillon, P., Wallner, G.M., Saile, S. (2012). Polymeric Materials for Solar Thermal Applications, Wiley-VCH, Weinheim.
- Lang, R.W., Wallner, G.M. (2012). Herausforderungen und Möglichkeiten für den Einsatz von Polymermaterialien in solarthermischen Anwendungen, Proceedings of Gleisdorf Solar, 285-288.
- Lang, R.W., Wallner, G.M., Fischer, J. (2013). Solarthermische Systeme aus Polymerwerkstoffen – Teil 1: Wissenschaftliche und methodische Voraussetzungen und ökologische und ökonomische Folgewirkungen, Blue Globe Report, Erneuerbare Energien #7/2013, Klima- und Energiefonds ([www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at)).
- Meir, M., Buchinger, J., Kahlen, S., Köhl, M., Papillon, P., Rekstad, J., Wallner, G.M. (2008). Polymeric Solar Collectors – State of the Art, Proceedings of EUROSUN 2008, Lisbon.
- Meir, M., Brunold, S., Fischer, S., Kahlen, S., Koehl, M., Ochs, F., Peter, M., Resch, K., Wallner, G.M., Weiss, K.-A., Wilhelms, C. (2009). Kunststoffe unter der Sonne, erneuerbare energie, 4/2009, 14-16.
- Reiter, C., Trinkl, C., Zörner, W., Hanby, V. (2012). Polymeric solar-thermal collectors: Design concepts with regard to production processes and costs, Proceedings of Gleisdorf Solar, 331-340.
- Stryi-Hipp, G., Weiss, W., Mugnier, D., Dias, P. (2012). Strategic Research Priorities for Solar Thermal Technology, RHC Renewable Heating&Cooling European Technology Platform, Brussels.
- Wallner, G.M., Lang, R.W. (2006). Kunststoffe - Neue Möglichkeiten in der Solarthermie, erneuerbare energie, 2/2006, 10-12.
- Wallner, G.M., Lang, R.W., Grabmayer, K., Kurzböck, M., Koller, W., Brandstätter, A., Nitsche, D. (2012). Solarthermische Kollektorsysteme mit Kunststoffabsorber – Materialien und Eigenschaftsprofile, Proceedings of Gleisdorf Solar, 289-295.
- Weiss, W., Spörk-Dür, M. (2018). Solar Heat Worldwide: Markets and contribution to the energy supply 2016, IEA Solar Heating&Cooling Programme, BMVIT, AEE INTEC, Gleisdorf.

## Task 54-Papers

(<http://task54.iea-shc.org/publications>)

Ramschak, T., Hausner, R., Fink, C. (2015). Polymeric materials in solar-thermal systems – Performance requirements and loads, *Energy Procedia*, 91, 105-112.

Carlsson, B., Meir, M., Rekstad, J., Preiss, D., Ramschak, T. (2016). Replacing traditional materials with polymeric materials in solar thermosiphon systems - Case study on pros and cons based on a total cost accounting approach, *Solar Energy*, 294-306.

Fischer, J., Bradler, P.R., Schläger, M., Wallner, G.M., Lang, R.W. (2016). Novel solar thermal collector systems in polymer design – Part 5: Fatigue characterization of engineering PA grades for pressurized integrated storage collectors, *Energy Procedia*, 91, 27-34.

Grabmann, M., Wallner, G., Ramschak, T., Ziegler, G., Lang, R.W. (2016). Global Aging and Lifetime Prediction of Polymeric Materials for Solar Thermal Systems – Part 2: Polyamide 66 Glass Fiber Reinforced Absorbers for Integrated Storage Collectors, *Proceedings EuroSun2016*, 6 pages.

Grabmann, M.K., Wallner, G.M., Ramschak, T., Buchinger, R., Lang, R.W. (2016). Global Aging and Lifetime Prediction of Polymeric Materials for Solar Thermal Systems – Part 1: Polypropylene Absorbers for pumped Systems, *Proceedings EuroSun2016*.

Povacz, M., Wallner, G.M., Grabmann, M.K., Beißmann, S., Grabmayer, K., Buchberger, W., Lang, R.W. (2016). Novel solar thermal collector systems in polymer design – Part 3: Aging behavior of PP absorber materials, *Energy Procedia*, 91, 392-402.

Ramschak, T., Hausner, R., Fink, C. (2016). Temperaturbegrenzung für Kunststoffkollektoren durch Durchlüftung, *Tagungshandbuch Gleisdorf Solar 2016*, AEE INTEC, Gleisdorf, AUT, 79-84.

Thür, A., Maslikova, K. (2016). Polymer Collectors with Temperature Control – Potentials for System Integration, *Tagungshandbuch Gleisdorf Solar 2016*, AEE INTEC, Gleisdorf, AUT, 65-78.

Wallner, G.M., Povacz, M., Hausner, R., Lang, R.W. (2016). Lifetime modeling of polypropylene absorber materials for overheating protected hot water collectors, *Solar Energy*, 125, 324-331.

Wallner, G.M., Grabmann, M.K., Geretschlager, K.J., Ramschak, T., Lang, R.W., Hausner, R., Buchinger, R., Fink, C. (2016). Lebensdauervorhersage für Kunststoff-Flach- und Speicherkollektoren, *Tagungshandbuch Gleisdorf Solar 2016*, AEE INTEC, Gleisdorf, AUT, 2-5.

Louvet, Y., Fischer, S., Furbo, S., Giovannetti, F., Mauthner, F., Mugnier, D., Philippen, D., Vajen, K. (2017). Entwicklung eines Verfahrens für die Wirtschaftlichkeitsberechnung solarthermischer Anlagen: die LCOH Methode, *Tagungshandbuch*, 27. Symposium Thermische Solarenergie, Kloster Banz, DE.

Bradler, P.R., Fischer, J., Pohn, B., Wallner, G.M., Lang, R.W. (2017). Effect of stabilizers on the failure behavior of glass fiber reinforced polyamides for mounting and framing of solar energy applications, *Energy Procedia*, 119, 828-834.

Fischer, J., Bradler, P.R., Lang, R.W., Leitner, S., Wallner, G.M. (2017). Material Properties of Plastics for Solar-Thermal Collector Mounting Systems, *Proceedings ISES Solar World Congress 2017*, 1993-1999.

Bradler, P.R., Fischer, J., Lang, R.W., Wallner, G.M. (2017). Fatigue Characterization of Potable Water Certified PA and PPA Grades for Solar-Thermal Applications, *Proceedings ISES Solar World Congress 2017*, 1618-1623.

Fischer, J., Mantell, S.C., Bradler, P.R., Wallner, G.M., Lang, R.W. (2017). Effect of Aging in Hot Chlorinated Water on the Mechanical Behavior of Polypropylene for Solar-Thermal Applications, Proceedings ISES Solar World Congress 2017, 1987-1992.

Grabmann, M.K., Wallner, G.M., Buchberger, W., Nitsche, D. (2017). Aging and Lifetime Assessment of Polyethylene Liners for Heat Storages – Effect of Liner Thickness, Proceedings ISES Solar World Congress 2017, 753-760.

Kicker, H., Lang, R.W., Wallner, G.M. (2017). Sustainability Assessment of Solar Thermal Collector Systems, Proceedings ISES Solar World Congress 2017, 2276-2283.

Wallner, G. (2017). Die Solarthermiebranche steht am Scheideweg, in Sonne Wind&Wärme, BVA Bielefelder Verlag GmbH & Co KG, 78-79.

Kicker, H., Wallner, G.M., Lang, R.W., Ramschak, T. (2018). Life Cycle Assessment of a Novel All-Polymeric Pumped Solar Thermal Collector System for Hot Water Preparation, ECOS 2018 - Proceedings of 31st International Conference on Efficiency, Cost, Optimisation, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 8 pages.

Wallner, G.M., Grabmann, M.K., Klocker, C., Buchberger, W., Nitsche, D. (2018). Effect of carbon nanotubes on the global aging behavior of  $\beta$ -nucleated polypropylene random copolymers for absorbers of solar-thermal collectors, Solar Energy, 172, 141-145.

Köhl, M., Saile, S., Weiß, K.-A., Fischer, S., Meir, M., Wallner, G., Louvet, Y., Giovannetti, F., Veynandt, F., Mugnier, D., Philippen, D., Thür, A. (2018). Price Reduction of Solar Thermal Systems – Results of IEA SHC Task 54, Proceedings of ISEC, 8 pages.

Kicker, H., Wallner, G.M., Lang, R.W. (2018). Sustainability Assessment of Most Relevant Solar Thermal Heat Systems, submitted to EuroSun proceedings.

Louvet, Y., Fischer, S., Furbo, S., Giovannetti, F., Köhl, M., Mugnier, D., Philippen, D., Veynandt, F., Vajen, K. (2018). Economic comparison of reference solar thermal systems for households in five European countries, in submission.

#### **Task 54-Info Sheets**

(<http://task54.iea-shc.org/publications>)

A01: LCOH for Solar Thermal Applications - Guideline for levelized cost of heat (LCOH) calculations for solar thermal applications, Y. Louvet, S. Fischer, S. Furbo, F. Giovanetti, F. Mauthner, D. Mugnier, D. Philippen

A02: Reference System, Austria Conventional heating system for single-family house, T. Ramschak, F. Veynandt

A03: Reference System, Austria Conventional heating system for multi-family house, T. Ramschak, F. Veynandt

A04: Reference System, Austria Solar domestic hot water system for single-family house, T. Ramschak, F. Veynandt

A05: Reference System, Austria Solar Combisystem for single-family house, T. Ramschak, F. Veynandt

A06: Reference System, Austria Solar domestic hot water system for multi-family house, T. Ramschak, F. Veynandt

A07: Reference System, Germany Conventional heating system for single-family house, S. Bachmann, S. Fischer, B. Hafner



A08: Reference System, Germany Solar domestic hot water system for single family house, S. Bachmann, S. Fischer, B. Hafner

A09: Reference System, Germany Solar Combisystem for single-family house, S. Bachmann, S. Fischer, B. Hafner

A10: Reference System, Germany Solar Combisystem for Multi-Family House, S. Helbig, O. Mercker, F. Giovannetti

A11: Reference System, Switzerland Solar domestic hot water system for multi-family house, D. Philippen, M. Caflisch

A12: Reference System, Denmark Solar domestic hot water system for single-family house, S. Furbo, J. Dragsted

A13: LCOH calculation method: comparison between Task 54 and Solar Heat WorldWide, F. Veynandt, T. Ramschak, Y. Louvet, M. Köhl, S. Fischer

A14: Heat Changers, M. Oropeza, S. Abrecht

A15: Reference multi-family solar domestic hot water system. France, D. Mugnier

A16: Reference System, France Drain-back multi-family solar domestic hot water system, D. Mugnier

A17: Reference single family solar domestic hot water system for France, D. Mugnier

B01: Optimized Systems, Denmark - SDHW System with Heat Storage and Polymer Inlet Stratifier, S. Furbo, J. Dragsted

B02: Effects of Technological Measures on Costs, D. Philippen, M. Caflisch, M. Haller, S. Brunold

B03: Reduction of Maintenance Costs by Preventing Overheating, B. Schiebler, F. Giovannetti, S. Fischer

B04: Manufacturing Costs - Cost reduction during production by product standardisation and reduction of product variety in China, M. Guangbai, S. Shiqiang, S. Fischer

B05: Levelized Cost of Heat for Solar Thermal Systems with Overheating Prevention, B. Schiebler, F. Giovannetti, S. Fischer

C01: Cost Drivers and Saving Potentials (1): Material substitution, K. Schnetzinger, G.M. Wallner

C02: Cost Drivers and Saving Potentials (2): Production, installation, design, A. Thür

C03: One-World-Solar-System, M. Wesle, R. Buchinger

D01: Review of Installation Costs, D. Mugnier, S. Saile, D. Philippen

D02: Obstacles in Installation and Recommendations, S. Saile, D. Mugnier, D. Philippen

D04: End-Users Decision Making Factors for H&C Systems, S. Lambertucci

## **Abbildungsverzeichnis**

- Abb. 1:** Entwicklung der Kollektor- und Systempreise in ( $\text{€/m}^2$ ) für die solarthermische Warmwasserbereitung in Österreich.
- Abb. 2:** Variablen bei der LCOH-Berechnung, mögliche Systemgrenzen und Annahmen in Task 54.
- Abb. 3:** Systemgrenzen und dazugehörige LCOH-Werte.
- Abb. 4:** Sensitivität der LCOH-Ergebnisse auf die Einflussfaktoren Inflationsrate, Investmentkosten, Betriebs- und Wartungskosten, Lebensdauer und eingesparte Endenergie.

- Abb. 5:** Überhitzungsschutz von Flachkollektoren durch Heatpipes mit organischen Wärmeträgern (KBB, ISFH), Temperatur-geschalteter Hinterlüftung (SPF), thermochromen Absorbern (ISFH) und Temperatur-geschalteter Rückkühlung (UIBK).
- Abb. 6:** Direktes Solarthermiesystem mit Thermo-Differential-Bypass-Ventil im Betriebszustand (links) und im Frostschutzmodus (rechts).
- Abb. 7:** LFT-Pressverfahren (links) zur Herstellung von großvolumigen Pumpenteilen (rechts) in der Papierindustrie.
- Abb. 8:** Kunststoff-Warmwasserbereitungssystem von Sunlumo (oben) und Kunststoff-Kombisystem von Aventa (unten).
- Abb. 9:** Vergleich der solaren Wärmegestehungskosten der untersuchten Voll-Kunststoffsysteme von Sunlumo und Aventa mit etablierten solarthermischen Systemen in Metall/Glas-Bauweise und herkömmlichen Heizungssystemen (Gas und Strom).

## **Tabellenverzeichnis**

**Tabelle 1:** Kostenverteilung eines gepumpten Solarthermiesystems für die Warmwasserbereitung (5 m<sup>2</sup> Kollektorfläche, 300 l Speicher)

**Tabelle 2:** Teilnehmer von IEA SHC Task 54

## **8. Anhang**

### **Final Task 54-presentations at ISEC 2018 in Graz (AUT)**

- M. Köhl, D. Mugnier, Introduction to IEA SHC Task54
- F. Veynandt, Y. Louvet, Calculating the Levelized Cost of Heat (LCoH) for Reference Solar Thermal Systems
- A. Thür, F. Giovannetti, S. Fischer, Improvements Developed during the IEA SHC Task 54 – Technical improvements
- D. Mugnier, D. Philippen, S. Saile, Improvements Developed during the IEA SHC Task 54 – Non-technical improvements & learning curve issues
- S. Fischer, Impact of the Improvements Developed during IEA SHC Task 54 on the Levelised Cost of Heat
- G.M. Wallner, R. Buchinger, Novel polymeric materials for cost-efficient solar-thermal systems

