

# IEA Solar Heating and Cooling Task 49/IV Solare Prozess- wärme für die Produktion und neue Anwendungen

C. Brunner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**26/2016**

## **Impressum:**

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

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

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

# IEA Solar Heating and Cooling Task 49/IV Solare Prozesswärme für die Produktion und neue Anwendungen

DI Christoph Brunner, Bettina Muster-Slawitsch  
AEE Institut für Nachhaltige Technologien

Christoph Zauner  
AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Robert Söll  
S.O.L.I.D. Gesellschaft für Solarinstallation und Design bmH

Gleisdorf, Februar 2016

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**

**IEA** FORSCHUNGS  
KOOPERATION

Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag 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.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



## 2. Inhaltsverzeichnis

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | Projektdaten.....                                  | 2  |
| 2.    | Inhaltsverzeichnis .....                           | 3  |
| 3.    | Aktualisierte Kurzfassungen.....                   | 4  |
| 4.    | Einleitung.....                                    | 8  |
| 5.    | Hintergrundinformation zum Projektinhalt .....     | 12 |
| 6.    | Ergebnisse des Projektes .....                     | 15 |
| 6.a   | Projektziele.....                                  | 15 |
| 6.b   | Projektergebnisse.....                             | 15 |
| 6.b.1 | Subtask A.....                                     | 15 |
| 6.b.2 | Subtask B.....                                     | 20 |
| 6.b.3 | Subtask C.....                                     | 29 |
| 6.c   | Veröffentlichungen.....                            | 32 |
| 7.    | Vernetzung und Ergebnistransfer.....               | 34 |
| 8.    | Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen..... | 36 |
| 9.    | Verzeichnisse .....                                | 38 |
| 10.   | Anhang .....                                       | 39 |

### 3. Aktualisierte Kurzfassungen

Der IEA SHC Task 49/IV „Solar Process Heat for Production and Advanced Applications“ beschäftigte sich mit den neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der Prozesswärmekollektoren, Integrationsrichtlinien zur optimalen Einbindung der Solarthermie in den Produktionsprozess sowie innovativer Prozesstechnologien, die den Einsatz von solarer Prozesswärme erhöhen.

Im Arbeitsplan des IEA SHC Task 49/IV „Solar process Heat for Production and Advanced Applications“ wurden folgende Ziele definiert:

Subtask A: Prozesswärmekollektoren:

- Verbesserung der Prozesswärmekollektoren und deren Kollektorloop-Komponenten
- Entwicklung einer Basis zum Vergleich von unterschiedlichen Kolleortechologien in Bezug auf technische und wirtschaftliche Faktoren
- Entwicklung von Empfehlungen für standardisierte Kolleortestabläufe im spezielle für konzentrierende Systeme
- Untersuchung von Systemlösungen zum Stagnationsverhalten und der Regelung von solaren Großanlagen

Subtask B: Prozessintegration und Prozessintensivierung in Kombination mit solarer Prozesswärme

- Verbesserung von Integrationsmethoden und –Werkzeuge für solare Prozesswärme durch eine verbesserte Wärmeintegration und Speichermanagement, weiterentwickelte Methode zur Identifizierung der Integrationspunktes innerhalb des Produktionsprozesses und der hydraulischen Einbindung
- Erhöhung des Potentials zur Einbindung von solarer Prozesswärme durch die Kombination mit Prozessintensivierung und die verstärkte Anwendung von neuen Technologien

Subtask C: Design Guidelines, Case Studies and Dissemination

- Zusammenstellung eines weltweiten Überblicks von bestehenden solaren Prozesswärmeinstallationen um die Hindernisse zur Marktdurchdringung zu minimieren und um ein umfassenden Wissenstransfer zu erreichen
- Die Entwicklung einer Methode um die Performance bestehender Umsetzungen bestmöglich zu analysieren und in Bezug auf Anwendungen, Kollektoren aber auch regionale und klimatische Bedingungen zu vergleichen
- Entwicklung von Design Guidelines, einfach zu bedienende Berechnungswerkzeuge zur Identifikation des solaren Ertrags und der Solarsystemperformance

Folgende Ergebnisse sind am Ende der Projektlaufzeit verfügbar:

Subtask A: Prozesskollektoren

- Allgemeine Anforderungen für Prozesswärmekollektoren und deren Verbesserung
- Bericht über Maßnahmen zur Vermeidung von und Umgang mit Stagnation
- Broschüre über Prozesswärmekollektoren
- Empfehlungen für unterschiedliche Testprozeduren und Empfehlungen für Normung

Subtask B: Prozessintegration, Prozessintensivierung und “Neue Anwendungen” für solare Prozesswärme

- Werkzeuge zur verbesserten Integration von solarer Prozesswärme
- Integrationsrichtlinie (Methodik für verbesserte Integration, Systemkonzepte, Richtlinien für Integrationsarten, Checklisten usw.)
- Bericht über Potentiale zur Verbesserung solarer Integration mit neuen Prozesstechnologien

Subtask C: Design Guidelines, Case Studies und Verbreitung

- Publikation von Design-Richtlinien für Solare Prozesswärmesysteme
- Berechnungswerkzeug für schnelle Machbarkeitsstudien inklusive Wirtschaftlichkeitsanalysen
- Bericht über Simulationstools, Durchführung von Fallstudien
- Internationale Datenbank von Best-Practice Demonstrationsanlagen

## **Abstract**

The IEA SHC Task 49/IV "Solar Process Heat for Production and Advanced Applications" is dealing with the newest developments on the subject of process heat collectors, integration guidelines for optimal integration of solar thermal energy into production processes and innovative process technologies which increase the application of solar process heat.

Following objectives had been defined for the work within the IEA SHC Task 49/IV:

### Subtask A: Process heat collectors

- Improving solar process heat collectors and collector loop components
- Providing a basis for the comparison of collectors with respect to technical and economic conditions
- Giving comprehensive recommendations for standardized testing procedures especially for concentrating systems
- Investigation of system solutions for stagnations behavior and controlling of large scale solar thermal systems

### Subtask B - Process integration and Process Intensification combined with solar process heat

- Improved solar thermal system integration methods and tools for production processes by advanced heat integration and storage management, advanced methodology for decision on integration place and integration types
- Increase of the solar process heat potential by combining process intensification and solar thermal systems and fostering new applications for solar (thermal/UV) technologies

### Subtask C: Design Guidelines, Case Studies and Dissemination

- Providing a worldwide overview of results and experiences from solar heat for industrial process systems in order to lower the barriers for market development and to disseminate the knowledge to the main target groups involved
- Developing of a performance assessment methodology for a comparison and analysis of different applications, collector systems, regional and climatic conditions
- Supporting future project stake holders by providing design guidelines, simplified fast and easy to handle calculation tools for solar yields and performance assessment

At the end of the project period following results will be available:

### Subtask A: Process heat collectors

- General Requirements of process heat collectors and its improvements
- Report about stagnation behavior of large scale solar thermal systems
- Brochure about process heat collectors
- Recommendation for test procedures and for standardization

### Subtask B - Process integration and Process Intensification combined with solar process heat

- Tools for improved process integration of solar process heat
- Guideline (methodology for improved integration, system concepts, guidelines for integration types, checklists, etc.) for integration of solar process heat
- Report on potentials for improving solar integration with new process technologies

#### Subtask C: Design Guidelines, Case Studies and Dissemination

- Publication of design-guidelines for solar process heat systems
- Calculation tools for quick feasibility studies including profitability analysis
- Report on simulation tools, implementation of case studies
- International data base for best-practice demonstration plants

## 4. Einleitung

### Strategische Zielsetzungen

Die 2012 veröffentlichte Studie der IEA „Technology Roadmap – Solar Heating and Cooling“ hat das Potential verschiedener solarthermischer Anwendungen bis 2050 ausgewiesen. Dabei ist klar erkennbar, dass solarthermische Systeme für den industriellen Bereich bis zu einem Temperaturbereich von 120°C mit 7,2 EJ den größten Anteil des solaren Heizens und Kühlens einnehmen werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass solare Prozesswärme ca. 20% der Niedrigtemperaturanwendungen in der Industrie bis 2050 abdecken wird.

Österreich hat bereits zu Beginn der internationalen Forschungstätigkeiten auf dem Gebiet der solaren Prozesswärme an der systematischen Herangehensweise mitgewirkt und entscheidende Akzente gesetzt. So wurde mit dem Projekt PROMISE (Produzieren mit Solarenergie) schon 2011 ein erstes Potential für Österreich erhoben und Fallstudien in vielversprechenden Industriesektoren entwickelt. Darauf aufbauend hat es auf den Gebieten Prozesskollektorentwicklung, Kollektortestentwicklung, Integrationsmethoden für solarthermische Systeme in Verbindung mit Effizienzmaßnahmen und optimierte Speicherkonzepte diverse nationale und internationale Projekte und Entwicklungen gegeben. Es kann behauptet werden, dass österreichische Forscher neben deutschen Instituten zu den weltweit treibenden Kräften auf dem Gebiet zu zählen sind.

Bis 2020 sollte aus heutiger Sicht und der Abschätzung der Entwicklungsmöglichkeiten davon ausgegangen werden, dass bei der Errichtung von neuen Produktionsstätten in den Bereichen Lebensmittelindustrie, Textilindustrie, Chemische Industrie und Betriebe der Oberflächenbehandlung 10% deren thermischen Energiebedarfs mit Solarthermie abgedeckt werden kann. Bei bestehenden Betrieben soll eine Abdeckung von 5% des thermischen Energiebedarfs erreicht werden [Österreichische Forschungsagenda Solarthermie]. Diese Ziele können nur durch intensive F&E Arbeiten in den in den Bereichen Kollektor- und Wärmespeicherentwicklung sowie Prozessintegration durch neue systemtechnische Lösungen erreicht werden.

Das Aufzeigen von Pfaden und konkreten technologischen Maßnahmen, die sich nicht nur einzelnen Personen wie beispielsweise im Wohnbau, sondern auch ganzen Industriezweigen bieten, trägt das Potenzial in sich, zu einem umfassenden Diskussionsprozess über die Nachhaltigkeit unserer Energieversorgung und die Rolle der Industrie in der Gesellschaft anzuregen und beizutragen. Positive Umsetzungsbeispiele können diesem Diskussionsprozess einen zusätzlichen, konstruktiven Impuls verleihen.

Die Forcierung Solarer Prozesswärme trägt in hohem Maße zu sämtlichen energiestrategischen Zielen bei: Bei Umsetzung der in dem Task 49/IV erarbeiteten Konzepte kommt es zu einem starken Wachstum solarer Wärme und anderer nachhaltiger Energietechnologien, insbesondere der Realisierung von Effizienzpotenzialen. Dies trägt unmittelbar zu erhöhter Energie- und Ressourceneffizienz, Reduktion der Importabhängigkeit bei Energieträgern und Reduktion des Energiebedarfs bei. In der Vergangenheit konnte beobachtet werden, dass der Umstieg auf erneuerbare Energien (oder auch anderen Elementen der ökologisch nachhaltigen Produktion) in Betrieben einen umfassenderen Diskussionsprozess um die Unternehmensphilosophie, Umweltmanagement und Mitarbeiterbeteiligung mit sich bringt. Dies kann zum Ziel „langfristig klimaschützender Wirtschaftsstrukturen“ beitragen. Der Umstieg auf erneuerbare und energieeffiziente Technologien kann zwar mit höheren Investitionskosten verbunden sein, führt allerdings zu einer deutlich geringeren Abhängigkeit von fossilen Energiepreisen und deren Volatilität, bzw. sehr geringeren Betriebskosten wie speziell beim Einsatz von Solarthermie. Die Analyse möglicher

Technologieentwicklungen im Sektor bis 2020 und darüber hinaus sowie die Erstellung von Szenarien trägt zum Ziel „Verbesserung des Wissens über langfristige Entwicklungen, ihre Kosten und Wirkungen“ bei.

### **Stand der Technik**

Der Einsatz solarer Wärme für Industrielle Prozesse befindet sich am Beginn der Entwicklung. Etwas mehr als 100 im Betrieb befindliche solarthermische Systeme für Prozesswärme waren 2012 weltweit bekannt, wobei die Gesamtkapazität etwa 24 MWth (34.000 m<sup>2</sup>) betrug. Die meisten dieser Anlagen befanden sich im Versuchsstadium mit relativ kleine Anlagengrößen. Mittlerweile konnte im Rahmen des IEA Task 49/IV eine Datenbank initiiert werden, in welcher bisher (Stand Februar 2016) 188 Anlagen dokumentiert sind mit einer gesamten Anlagengröße von 154.574 m<sup>2</sup>. Diese Entwicklung zeigt den Trend hin zu großen Anlagen. Die weltweit größte Anlage ist mit Jänner 2016 die Anlage der im Bergbau Minera Gabriela Mistral mit 39.000m<sup>2</sup>.

Da 28 % des gesamten Energiebedarfs in den Staaten der EU27 im industriellen Sektor anfallen und der Großteil dieser Wärme bei Temperaturen unter 250 °C benötigt wird, kann ein sehr großes Potential für Markt- und Technologieentwicklungen erkannt werden. Entsprechend einer Studie (Ecoheatcool 2006) fallen 30 % des Wärmebedarfs in der Industrie bei Temperaturen unter 100 °C und 57 % bei Temperaturen unter 400 °C an. Theoretisch kann der Wärmebedarf unter 100 °C mit solarthermischen Systemen bestehender Technologien gedeckt werden, wenn eine passende Integration der Systeme identifiziert wird. Bei weiterer Technologieentwicklung können immer mehr Mitteltemperaturanwendungen (bis 250 °C) einer Markteinführung zugeführt werden. In mehreren Industriesektoren (Lebensmittel, Wein und Getränke, Transporteinrichtungen, Maschinenindustrie, Textil, Papier und Zellstoff) ist der Anteil des Wärmebedarfs bei niedrigen und mittleren Temperaturen (unter 250 °C) bei etwa 60 % (POSHIP 2001). Durch die Erschließung dieses Potentials kann die Solarthermie einen erheblichen Beitrag zur Deckung des industriellen Bedarfs leisten.

Die Methodik, die entwickelt wurde, um die Energieversorgung in der Industrie mit minimalen Treibhausgasemissionen zu realisieren, kann in drei Ansätze untergliedert werden:

- Technologische Prozessoptimierung (z.B. verbesserter Wärme- und Stoffaustausch, geringere Prozesstemperaturen) und solarthermische Systeme (z.B. Betrieb von Solarfeldern, Integrationsverfahren, Regelung, Sicherheitsfragen usw.)
- Systemoptimierung (verbesserte Energieeffizienz durch die Verwendung von z.B. Pinchanalysen für Wärmetauschernetzwerke an Anlagen)
- Integration erneuerbarer Energie / Solarthermie (basierend auf exergetischen Überlegungen)

Für die Einbindung von solarer Prozesswärme in industrielle Prozesse ist es zwingend notwendig, dass das Solarsystem zu jeder Zeit störungsfrei und zuverlässig arbeitet. Aus diesem Grund ist es notwendig, dass Solarsysteme die Zustände der Stagnation und Überhitzungszustände ohne nachhaltige Schäden überleben bzw. diese extremen Zustände nicht eintreten können. Bei Kollektoren mit einer hohen Arbeitstemperatur (z.B. konzentrierende Systeme) müssen die Komponenten hohe Temperaturen standhalten. Die Herausforderung besteht darin, dass bei nicht-konzentrierende Systemen die Komponenten teilweise nicht auf diese hohen Temperaturen ausgelegt sind. Es ist zu erwarten, dass das Problem der Stagnation bei industrieller Prozesswärme vermehrt auftreten wird, da Ereignisse wie ungeplante Produktionsstillstände, Betriebsurlaube oder Produktionsunterbrechungen während des Wochenendes eintreten können. Diese speziellen Anforderungen an den Kollektor und dessen Komponenten im Solarkreislauf bildeten eine der Fragestellungen in dem Subtask A.

Aber nicht nur die Stagnation sondern auch das dynamische Verhalten von Kollektoren bei höheren Temperaturen stellt einen wichtigen Bereich dar. Die Untersuchung der Komponenten aber auch der z.B. des Wärmeträgermediums oder des Isolationsmaterials bei hohen Temperaturen muss durch spezielle Test und durch Monitoringergebnisse erfolgen. Die Verbesserung der bestehenden Kollektoren aber auch die Unterstützung der Neuentwicklungen kann zu einer verbesserten Preis/Leistung Performance führen. Maßnahmen zur Kollektoroptimierung wie zum Beispiel Anti-reflexionsbeschichtung, doppelte Verglasung, Edelgasfüllungen oder Vakuum, CPC –Vakuum Kombinationen oder unterschiedliche konzentrierende Systeme wie Parabolrinnenkollektoren und Fresnelkollektoren wurden im Rahmen des Task 49/IV untersucht und verglichen werden.

Die allgemein gültige Methode zur Integration von Solarthermie in industrielle Prozesse wurde im Rahmen des IEA Task 33/IV entwickelt. Es wurde gezeigt, dass die Pinch Analyse, die einerseits ein optimiertes Wärmetauschernetzwerk zur maximalen Wärmerückgewinnung vorschlägt und andererseits den Temperaturbereich, bei der solare Prozesswärme in ein System integriert werden soll, eines der am besten geeigneten Methoden dafür darstellt. Da in den Industriesektoren in denen solare Prozesswärme ein hohes Potential aufweist sehr oft Batchprozesse ablaufen und auch die Energiegewinnung über die Sonne als Batchprozess betrachtet werden muss, bieten die bestehenden Pinch-Programme die vor allem kontinuierliche ablaufende Prozesse betrachten können nur eine erste Abschätzung. Des Weiteren hat sich auch herausgestellt, dass optimierte Wärmemanagementstrategien auch zu einer höheren Effizienz bei der Wärmerückgewinnung und eines höheren solaren Ertrags führen. Die Anforderungen an innovativen Wärmeintegrationswerkzeugen liegen somit vor allem bei einer zeitabhängigen Komponente und eines verbesserten Speichermanagements.

Prozessintensivierung kann als Schlüsselbegriff für „emerging“ Technologien gesehen werden, die die Rahmenbedingungen für effiziente, solargetriebene Produktionsprozesse darstellt. Eine bisher nicht betrachtete Fragestellung war, ob eine Entwicklung von innovativen Technologiekonzepten (PI in Kombination mit solarthermischen Anwendungen) zu einer Vergrößerung des Potentials von solarer Prozesswärme führen kann.

### **Vorarbeiten**

2007 wurde der IEA SHC Task 33/IV Solar Process heat initiiert, der erste wichtige Akzente für die Implementierung von Solarer Wärme in industriellen Prozessen setzte. Bis 2012 wurden von österreichischen Akteuren (SOLID, AIT, AEE INTEC) eine Reihe von Projekten (PROMISE, PROMISE Demo, PROMISE Application, SolProBat, KLIEN Begleitforschung, SOCO, SolarFoods, Solarbrew, ISolar and Master CPC) bearbeitet, die von Studien zur Umsetzungen in Industriebetrieben und Entwicklungen von neuen Kollektoren führten.

Folgende Forschungsfragestellungen waren für die österreichische Forschung relevant:

- Entwicklung von Prozesswärmekollektoren mit Wärmeverlustregelung und Maximierung der Energiegewinnung
- Test von Prozesswärmekollektoren bei Arbeitstemperaturen über 100 °C
- Verbesserte Werkzeuge zur Einbindung von solarer Prozesswärme

Im vorliegenden IEA Task 49/IV hat die AEE INTEC den Start des Tasks in Abstimmung mit dem BMVIT initialisiert und maßgeblich und federführend an der Definitionsphase und der Entwicklung des Arbeitsprogramms mitgewirkt. Die Partner AIT und SOLID haben bereits in der Definitionsphase an der Entwicklung des Arbeitsprogramms mitgewirkt.

Der vorliegende Endbericht ist aufgebaut anhand der Ergebnisse der Subtasks des Arbeitsprogramms des IEA Task 49/IV. Die österreichischen Aktivitäten sind dabei besonders herausgehoben.

#### Subtask A: Prozesskollektoren

- Allgemeine Anforderungen für Prozesswärmekollektoren und deren Verbesserung
- Bericht über Maßnahmen zur Vermeidung von und Umgang mit Stagnation
- Broschüre über Prozesswärmekollektoren
- Empfehlungen für unterschiedliche Testprozeduren und Empfehlungen für Normung

#### Subtask B: Prozessintegration, Prozessintensivierung und "Neue Anwendungen" für solare Prozesswärme

- Werkzeuge zur verbesserten Integration von solarer Prozesswärme
- Integrationsrichtlinie (Methodik für verbesserte Integration, Systemkonzepte, Richtlinien für Integrationsarten, Checklisten usw.)
- Bericht über Potentiale zur Verbesserung solarer Integration mit neuen Prozesstechnologien (basierend auf (bestehenden) Fallstudien)

#### Subtask C: Design Guidelines, Case Studies und Verbreitung

- Publikation von Design-Richtlinien für Solare Prozesswärmesysteme
- Berechnungswerkzeug für schnelle Machbarkeitsstudien inklusive Wirtschaftlichkeitsanalysen
- Bericht über Simulationstools, Durchführung von Fallstudien
- Internationale Datenbank von Best-Practice Demonstrationsanlagen

## 5. Hintergrundinformation zum Projektinhalt

Der SHC Task 49/IV gliederte sich in 3 Subtasks:

### **Subtask A: Prozesskollektoren (SPF, Dr. Elimar Frank / Fraunhofer ISE, Dr. Pedro Horta)**

Im Subtask A wurde primär der thermische Solarkollektor als Einzelkomponente für den Einsatz in solarer Prozesswärmeanwendung behandelt, wobei alle Typen von Kollektoren (nicht-konzentrierende Wasser- und Luftkollektoren sowie konzentrierende Kollektoren mit der gesamten Bandbreite an verfügbaren Wärmeträgern als Arbeitsmittel) miteinbezogen werden.

Eine hervorzuhebende Zielsetzung dieses Subtasks bestand darin, eine Vergleichsbasis der verfügbaren Typen von Prozesswärmekollektoren zu schaffen. Es wurde eine Methode angestrebt, konzentrierende und nicht-konzentrierende thermische Solarkollektoren anhand ausgewählter Parameter zu charakterisieren. Hieraus entstand auch die Notwendigkeit der Definition und Umsetzung standardisierter Testverfahren für Prozesswärmekollektoren.

Aufgrund der hohen Temperaturen (bis zu 400°C), die mit Prozesswärmekollektoren erreichbar sind, müssen darüber hinaus ebenso Kollektorkomponenten wie beispielsweise die Isolierung oder die Absorberbeschichtung auf diese neuen Anforderungen hin untersucht und bewertet werden. Einen besonderen Schwerpunkt wirft hier auch die Fragestellung nach dem Stagnationsverhalten auf, für die Lösungsvorschläge entwickelt wurden.

Die übergeordnete Zielsetzung von Subtask A bestand schlussendlich darin, die verfügbaren Prozesswärmekollektortechnologien basierend auf dieser einheitlichen Vergleichsbasis bestimmten Anforderungen bzw. Anwendungsfälle zuordenbar zu machen.

### **Subtask B: Prozessintegration, Prozessintensivierung und “Neue Anwendungen” für solare Prozesswärme (AEE INTEC, DI Bettina Muster)**

Im Subtask B lag der Fokus bei den industriellen Prozessen, die mit thermischer Solarenergie versorgt werden sollen. Es wurde der Ansatz verfolgt, mittels Optimierung bestehender Prozesse und Produktionen bestmögliche technische und wirtschaftliche Voraussetzungen für eine nachgelagerte Integration von Solarenergie zu erreichen. Als ein weiterer Schritt wurden alternative Prozesstechnologien identifiziert und die Auswirkungen solcher Maßnahmen zur sogenannten Prozessintensivierung auf die Integration thermischer Solaranlagen bewertet.

In Subtask B wurden 2 Zielsetzungen verfolgt:

#### A) Fortgeschrittene Wärmeintegration

Basierend auf der Methodik der Pinch-Analyse wird einerseits eine Optimierung von Produktionsbetrieben hinsichtlich der Verwendung der Energie angestrebt und andererseits kann der thermodynamisch optimale Punkt der Einbindung von thermischen Solaranlagen ermittelt werden. Bezugnehmend auf diese Vorgehensweise wurde in Subtask B eine Weiterentwicklung und Vertiefung dieser Methodik behandelt, die im Speziellen intelligentes Speichermanagement und die Modellierung von Batch Prozessen zum Inhalt hatte.

#### B) Prozessintensivierung in Kombination mit Solarenergie

Neben der weiterführenden Wärmeintegration und der damit verbundenen verstärkten Möglichkeit der Einbindung von Solarthermie in Industrieprozessen soll durch den Einsatz von neuen Technologien die Prozesse selbst in der Form umgeändert werden, dass ebenfalls das Potential der Einbindung von Solarthermie steigt. Im Rahmen der Tätigkeiten im Subtask B wurde ein Bericht erstellt, der die aktuellen Trends und Entwicklungen im Bereich Prozessintensivierung in Kombination mit Solarthermie zusammen fasst und Schwerpunkte identifiziert. Weiters sind Forschungsaktivitäten für neue Anwendungen zusammengefasst.

### **Subtask C: Design Guidelines, Case Studies und Verbreitung (Fraunhofer ISE, Dr. Werner Platzer)**

Das Hauptziel diese Subtasks war es Planungs- und Informationsmethoden für Kollektorhersteller, Anlagenbauer, Installateure und Anwender (produzierende Industrie) zu Verfügung zu stellen um die Planung, Vermarktung und die Errichtungsphase für zukünftige Industrieanlagen unterstützen. Einerseits wurden bestehende Anlagen evaluiert, vermessen und „Best Practice“ Beispiele verbreitet. Andererseits wurde ein Berechnungstool speziell für die Simulation von Großsolaranlagen zum Einsatz in der Industrie entwickelt bzw. auf bestehende Werkzeuge aufgebaut werden.

Neben der Verbreitung der Ergebnisse war auch die Unterstützung der politischen Entscheidungsträger in der Entwicklung entsprechender Förderprogramme Inhalt dieses Subtasks sein.

Institute und Firmen aus folgende Länder beteiligten sich am IEA Task 49/IV: Österreich, Belgien, China, Frankreich, Deutschland, Indien, Italien, Mexiko, Portugal, Südafrika, Spanien, Schweden, Schweiz, Großbritannien, USA.

### **Österreichische Beteiligung**

In Österreich waren die Akteure AIT, SOLID, AEE INTEC, TU Graz/IPPE aktiv in die Arbeiten eingebunden. Die Projektziele der österreichischen Aktivitäten im IEA Task 49/IV umfassten folgende Punkte:

#### Subtask A – Process heat collectors

- Entwicklung eines Testverfahrens für standardisierte Kolleortests
- Definition des spezifisches Anforderungsprofil von Prozesskollektoren
- Lösungen für Stagnationsverhalten bei Großsolaranlagen

#### Subtask B - Prozessintegration solarer Prozesswärme

- Analyse und Evaluierung der bestehenden bzw. in Entwicklung befindlichen Tools zu Wärmeintegration und Speichermanagement, sowie Entscheidung der Einbindung von Solarthermie in industrielle Prozesse
- Entwicklung einer umfassenden Methode und Guideline zur bestmöglichen Integration von solarer Prozesswärme
- Umsetzungen der bestehenden bzw. in Entwicklung befindlichen Tools an mehreren Fallstudien
- Guideline zur Anwendung der Methoden und Tools

#### Subtask B - Kombination von Solarthermie und Prozessintensivierung

- Überblick über international laufende Aktivitäten und Forschungsprojekte
- Potentialstudie für Solare Prozesswärme durch Prozessintensivierung – Identifizierung neuer bzw. optimierter Anwendungen
- Entwicklung von neuen Systemkonzepten

Subtask C: Design Guidelines, Case Studies and Dissemination

- Planungswerkzeug für die Auslegung von Großsolaranlagen
- Realisierung und Monitoring von bestehenden Demonstrationsanlagen
- Erschließung des Marktes

## 6. Ergebnisse des Projektes

### 6.a *Projektziele*

Im Arbeitsplan des IEA SHC Task 49/IV „Solar process Heat for Production and Advanced Applications“ wurden folgende Ziele definiert:

#### **Subtask A: Prozesswärmekollektoren:**

- Verbesserung der Prozesswärmekollektoren und deren Kollektorloop-Komponenten
- Entwicklung einer Basis zum Vergleich von unterschiedlichen Kollektortechnologien in Bezug auf technische und wirtschaftliche Faktoren
- Entwicklung von Empfehlungen für standardisierte Kollektortestabläufe im speziellen für konzentrierende Systeme
- Untersuchung von Systemlösungen zum Stagnationsverhalten und der Regelung von solaren Großanlagen

#### **Subtask B: Prozessintegration und Prozessintensivierung in Kombination mit solarer Prozesswärme**

- Verbesserung von Integrationsmethoden und –Werkzeuge für solare Prozesswärme durch eine verbesserte Wärmeintegration und Speichermanagement, weiterentwickelte Methode zur Identifizierung des Integrationspunktes innerhalb des Produktionsprozesses und der hydraulischen Einbindung
- Erhöhung des Potentials zur Einbindung von solarer Prozesswärme durch die Kombination mit Prozessintensivierung und die verstärkte Anwendung von neuen Technologien

#### **Subtask C: Design Guidelines, Case Studies and Dissemination**

- Zusammenstellung eines weltweiten Überblicks von bestehenden solaren Prozesswärmeinstallationen um die Hindernisse zur Marktdurchdringung zu minimieren und um einen umfassenden Wissenstransfer zu erreichen
- Die Entwicklung einer Methode um die Performance bestehender Umsetzungen bestmöglich zu analysieren und in Bezug auf Anwendungen, Kollektoren aber auch regionale und klimatische Bedingungen zu vergleichen
- Entwicklung von Design Guidelines, einfach zu bedienende Berechnungswerkzeuge zur Identifikation des solaren Ertrags und der Solarsystemperformance

### 6.b *Projektergebnisse*

#### **6.b.1 Subtask A**

##### **6.b.1.1 Allgemeine Anforderungen für Prozesswärmekollektoren und deren Verbesserung**

Dieses Deliverable in Form eines Berichts umfasst eine Definition für Prozesswärmekollektoren sowie eine Darstellung relevanter Anforderungen an Prozesswärmekollektoren aus technischer und wirtschaftlicher Sicht sowie in Abhängigkeit der industriellen Anwendung.

Aufgrund der unterschiedlichen Temperaturniveaus, auf denen die solare Prozesswärme benötigt wird, ergeben sich mitunter sehr unterschiedliche Anforderungen an den Prozesswärmekollektor und in weiterer Folge an das gesamte Solarsystem. Um eine Abgrenzung bei der Beschreibung der allgemeinen Anforderungen für Prozesswärmekollektoren zu ermöglichen wurde folgende Unterteilung getroffen:

| Niedertemperatur-<br>Prozesswärmekollektor oder<br>System | Mitteltemperatur-<br>Prozesswärmekollektor oder<br>System | Hochtemperatur-<br>Prozesswärmekollektor oder<br>System |
|---|---|---|
| <b>&lt;100 C</b>  | <b>100°C - 250°C</b>                                      | <b>&gt; 250°C</b>                                       |

Als Temperatur - Bezugsgröße für die Klassifizierung dient die Kollektorarbeitstemperatur<sup>1</sup>.

Zur Bewertung der physikalischen Leistungsfähigkeit von Prozesswärmekollektoren Wärme auf einem bestimmten Temperaturniveau zur Verfügung zu stellen, wurde darüber hinaus die „spezifische thermische Kollektorleistung“ in [Wth/m<sup>2</sup>] identifiziert. Diese Kennzahl gibt Auskunft über die Wärmeleistung eines Kollektors pro Flächeneinheit (Bruttokollektorfläche) in Abhängigkeit der Kollektorarbeitstemperatur und der solaren Einstrahlung. Neben den kapitalgebundenen Kosten eines solaren Prozesswärmekollektors ist die spezifische thermische Kollektorleistung ein wichtiger Indikator hinsichtlich der Kosteneffizienz. Um eine angemessene Leistungsfähigkeit bzw. Kosteneffizienz zu gewährleisten wurde folgende Festlegung getroffen:

„Eine „angemessene“ Leistungsfähigkeit bei Mittel- und Hochtemperaturprozesswärmekollektoren ist gegeben, wenn die spezifische thermische Kollektorleistung 300 W/m<sup>2</sup> Brutto-Kollektorfläche übersteigt<sup>2</sup>“.  
[IEA Task 49 / SolarPaces Annex IV]

Ergebnisse dieses Deliverables stehen im Mitgliederbereich der IEA-SHC Task 49/IV Homepage in Berichtsform zum Download bereit. Alle österreichischen beteiligten Instituten (AEE INTEC, AIT, SOLID) beteiligten sich mit ihrer Erfahrung zu Prozesswärmekollektoren.

### 6.b.1.2 Bericht über Maßnahmen zur Vermeidung von und Umgang mit Stagnation

Die besondere Herausforderung bei solaren Prozesswärmeanwendungen im Zusammenhang mit Stagnation und Überhitzung besteht darin, dass zum einen teilweise höhere Temperaturen als bei konventionellen Systemen erreicht werden (bis 400°C) und dass zum anderen prozessbedingte Stillstände viel häufiger auftreten als beispielsweise im Segment der solargestützten Wärmenetze. Damit ein wartungsarmer Betrieb sichergestellt werden kann und Beschädigungen des Solarsystems aufgrund hoher Temperatur- und Druckbelastungen im Falle von Stagnation vermieden werden, muss eine solare Prozesswärmeanwendung entweder so konstruiert sein, dass die Komponenten im Solarkreis den maximal auftretenden Belastungen stand halten oder die maximale Belastung im System wird aktiv mittels Kühlmechanismen, hydraulische Schaltungen, etc. begrenzt. Diesen grundlegenden Anforderung folgend

<sup>1</sup> Unter Kollektorarbeitstemperatur versteht man die arithmetische Mitteltemperatur zwischen Solar-Rücklauf (Eintrittstemperatur Kollektor bzw. Kollektorfeld) und Solar-Vorlauf (Austrittstemperatur Kollektor bzw. Kollektorfeld).

<sup>2</sup> Rahmenbedingungen:

- horizontale solare Einstrahlungsleistung: 1000 W / m<sup>2</sup> bei 15 % diffusem Strahlungsanteil und 20°C Umgebungstemperatur
- Kollektorarbeitstemperatur > 100°C (Mitteltemperaturkollektor) bzw. >250°C (Hochtemperaturkollektor)

wurden für solare Prozesswärmeanwendungen Maßnahmen zur a) Vermeidung von Stagnation und b) Beherrschung von Stagnation in solarthermischen Anlagen identifiziert und anhand von realisierten Anlagen analysiert.

Die unterschiedlichen identifizierten Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Beherrschung von Stagnation sind in nachfolgender Tabelle 1 zusammengefasst. Im Berichtsteil zum Deliverable D A: 1-2 sind für alle angeführten Maßnahmen jeweils hydraulische Schaltbilder aufbereitet, Vor- und Nachteile diskutiert sowie (sofern vorhanden) reale Umsetzungsbeispiele angeführt.

Das Deliverable D A: 1-2 (Overheating / Stagnation) wurde 2015 federführend von AEE INTEC und SPF fertig gestellt.

**Tabelle 1: Maßnahmen zur Vermeidung und Beherrschung von Stagnation in solaren Prozesswärmeanwendungen**

|   | <b>Beherrschung von Stagnation</b> (stagnation control)  | <b>Vermeidung von Stagnation</b> (stagnation prevention)  |
|---|--|---|
| <b>passive Maßnahmen</b><br>(ohne Hilfsenergie) | <p><b>Alle Leistungsbereiche:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ausreichend groß dimensionierte Ausdehnungsgefäße bzw. Druckhalteeinrichtungen (für Flüssigkeitsdehnung + Dampfvolumen)</li> <li>• temperaturresistente Solarkreis Komponenten (wenn von Dampf erreicht)</li> </ul> <p><b>Kleiner und mittlerer Leistungsbereich (&lt; 100 bis 500 kW<sub>th,p</sub>):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kondensatoren basierend auf einen Wärmeaustausch gegen Luft (z.B.: Rippenrohrwärmetauscher) (&lt; 100 kW<sub>th,p</sub>)</li> <li>• Kondensatoren basierend auf einen Wärmeaustausch gegen Wasser / Kühlmedium (z.B.: Stagnationskühler) (100 - 500 kW<sub>th,p</sub>)</li> </ul> | <p><b>Alle Leistungsbereiche:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Drain-Back Systeme (geeignete Kollektoren und Systemkonzepte vorausgesetzt)</li> <li>• Derzeit nur geringe praktische Erfahrung vorhanden</li> </ul>   |
| <b>aktive Maßnahmen</b><br>(mit Hilfsenergie)   |  | <p><b>Mittlerer bis hoher Leistungsbereich (&gt; 350 kW<sub>th,p</sub>):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• „aktive“ Rückkühler im Solar-Primärkreis</li> </ul> <p><b>Anlagen mit Flachkollektoren – alle Leistungsbereiche</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachtkühlung über Kollektorfeld</li> </ul> <p><b>Anlagen mit konzentrierenden Kollektoren – alle Leistungsbereiche</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• automatisches „Defocussing“ der Konzentratorspiegel</li> </ul>   |
| <b>Charakteristika</b>                          | <p><b>USV (unterbrechungsfreie Stromversorgung)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• keine oder nur für geringe Leistungen (z.B.: USV für die Steuereinheit und ein Motorventil + evtl. eine Pumpe)</li> </ul> <p><b>Sicherheits- und Ausdehnungseinrichtungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausdehnungsanlage muss Flüssigkeitsdehnung + Dampfvolumen aufnehmen können</li> <li>• Sicherheitsventile öffnen zumeist erst bei hohem Druck</li> </ul> <p><b>Entleerungsverhalten Kollektor / System</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• gutes Entleerungsverhalten ist vorteilhaft</li> </ul>   | <p><b>USV (unterbrechungsfreie Stromversorgung)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe bis hohe Leistungen sind erforderlich (z.B.: USV für die Steuereinheit, Motorventile, Pumpen, ggf. Rückkühler, ggf. Stellantriebe der Konzentratorspiegel für das Defocussing)</li> </ul> <p><b>Sicherheits- und Ausdehnungseinrichtungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausdehnungsanlage muss nur Flüssigkeitsdehnung aufnehmen können</li> <li>• Der Öffnungsdruck der Sicherheitsventile kann bewusst gering gehalten werden</li> </ul> <p><b>Entleerungsverhalten Kollektor / System</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• gutes Entleerungsverhalten ist vorteilhaft, hat aber nicht höchste Priorität beim Systemdesign</li> </ul> |

### 6.b.1.3 Broschüre über Prozesswärmekollektoren

In Deliverable A 1-3 werden die zugrunde liegenden Konzepte marktverfügbarer Prozesswärmekollektoren entsprechend dem Stand der Technik ausführlich beschrieben. Eine zugehörige Datenbank zu Mitteltemperaturkollektoren wurde im Rahmen des STAGE Projektes erstellt [1].

Folgende Kollektortechnologien wurden im Rahmen des Task 49/IV von unterschiedlichen Experten der Arbeitsgruppe bearbeitet und vorgestellt:

- Flachkollektor (SPF, Fraunhofer ISE, TIGI LTd. <http://www.tigisolar.com/>)
- Vakuumflachkollektor (SRB Energy <http://www.srbenergy.nl>, TVP Solar SA <http://www.tvpsolar.com>)
- Vakuumröhrenkollektor (ITW und Fraunhofer ISE, AEE INTEC)
  - Österreichischer Beitrag über das Projekt MidTempColl (effizienter und kostenoptimierter Mitteltemperaturkollektor (80-120°C) für große Anlagen) [2]
- CPC Flachkollektor (MCG in Kooperation mit Universität Évora im Rahmen des EU Projektes REELCOOP)
- CPC Kollektor (AIT)
  - Österreichischer Beitrag über die Mitteltemperatur – CPC – Kollektor Entwicklung des AIT [3]
- Parabolrinnenkollektor (SPF [4]. Mithras Holding GmbH & CO KG)
- Fresnel Kollektor (Fraunhofer ISE)
- Konzentrierender Kollektor mit stationärem Reflektor (Universität de les Illes Balears)
- Sonderbauformen (Luftkollektor, konzentrierender und nicht konzentrierender PVT Kollektor, Flachkollektor mit externem Konzentrator, linear nachgeführter Konzentrator, etc.)

### 6.b.1.4 Kollektorerträge unter definierten Bedingungen

Die Zielsetzung dieses Unter-Arbeitspaketes bestand darin, eine Vergleichsbasis der verfügbaren Typen von Prozesswärmekollektoren zu schaffen. Es wurde eine Methode angestrebt, konzentrierende und nicht-konzentrierende thermische Solarkollektoren anhand ausgewählter Parameter zu charakterisieren und nach techno-ökonomischen Gesichtspunkten zu bewerten. Damit soll es Entscheidungsträgern und Planern zukünftig ermöglicht werden, geeignete Kollektortechnologien in Abhängigkeit der speziellen Anwendung sowie in Abhängigkeit charakteristischer Rahmenbedingungen (Standort, Temperaturniveau, Lastprofil, Wirtschaftlichkeitskriterien, etc.) rasch identifizieren zu können.

Als Ergebnis steht die Software „ScenoCalc“ zur Verfügung, mit welcher es möglich ist für unterschiedliche Kollektoren (nicht-konzentrierende Flach- und Vakuumröhrenkollektoren, PTC, Fresnel Kollektoren) die Jahres-Brutto-Kollektorerträge für unterschiedliche Kollektorarbeitstemperaturen und für unterschiedliche Standorte zu berechnen. Eine solche Ertragsberechnung in Verbindung mit Kollektorpreisen ist Basis für einen Vergleich unterschiedlicher Kollektortechnologien nach techno-ökonomischen Gesichtspunkten – beispielsweise ein Vergleich der Barwerte, Renditen oder der solaren Wärmegestehungskosten über die Lebensdauer der Anlagen. Die Software „ScenoCalc“ basiert auf MS Excel und wurde im Rahmen des IEE Projektes „QAIST“ (Quality Assurance in Solar Thermal Heating and Cooling Technologies) entwickelt. Das Tool findet Verwendung bei der Berechnung des jährlichen Brutto-Kollektorertrages von Solar Keymark

zertifizierten Kollektoren (siehe <http://www.estif.org/solarkeymarknew/index.php>) und wurde für diesen Zweck u.a. von Teilnehmern am Task 49/IV kontinuierlich weiterentwickelt, verbessert und für die Berechnung unterschiedlicher Kollektortypen adaptiert. Eine freie Version der Software steht auf der Homepage von SP (Technical Research Institute of Sweden) zum Download bereit: <http://www.sp.se/en/index/services/solar/ScenoCalc/Sidor/default.aspx>.

### **6.b.1.5 Empfehlungen für unterschiedliche Testprozeduren und Empfehlungen für Normung**

Um Solarkollektoren einen erfolgreichen Markteinstieg zu ermöglichen, ist es für Hersteller essentiell verlässliche Zahlen über ihre Kollektoren weitergeben zu können, um mit genügender Genauigkeit Erträge abschätzen zu können und sicheren Betrieb gewährleisten zu können. Dazu braucht es Testprozeduren und einheitliche Bewertungszahlen.

Ziel von D A: 3-1 war es daher, Empfehlungen für unterschiedliche Testprozeduren zu formulieren, die in weiterer Folge in die Prüfnorm für thermische Solarkollektoren DIN EN ISO 9806:2012-03 einfließen sollen. Die ISO 9806:2012-03 hat heutzutage einen weiten Einsatzbereich und inkludiert auch hochkonzentrierende Kollektoren. Da die Bandbreite der Kollektortechnologien zugenommen hat, und die beiden bisher separaten Bereiche nicht-konzentrierende Systeme und konzentrierende Hochtemperatursysteme zu verschmelzen beginnen, entstehen Fragen, wie derartige Technologien fair getestet und verglichen werden können.

In drei Arbeitsgruppen (working groups- WG) wurden schwerpunktmäßig folgende Themen bearbeitet:

- WG „IAM“: Messung und Simulation der Winkelabhängigkeiten einfallender Strahlung auf den solaren Ertrag bei thermischen Solarkollektoren, Softwarevergleiche, Übertragbarkeit verfügbarer Modelle auf Mitteltemperaturkollektoren, etc.
- WG „self protection“: Testvorschriften für Mitteltemperaturkollektoren hinsichtlich Überhitzungsschutz, Stagnationsverhalten; Definition geeigneter Funktionstests für Mittel- und Hochtemperaturkollektoren, etc.
- WG „InSitu“: Diskussion über die Möglichkeiten von InSitu Systemtests vs. Komponententests im Prüflabor

Die Ergebnisse aller Arbeitsgruppen sind in einem umfassenden Bericht zusammengefasst für die Zielgruppen Hersteller, Projektentwickler, Auftragnehmer und Anwender. Der Bericht stellt bestehende Richtlinien dar und zeigt auf, in welchen Bereichen ein fairer Vergleich bisher schwer möglich ist. Für diese Themen sind Lösungsvorschläge aufgezeigt, einschlägige Publikationen gelistet und zukünftige Arbeitsbereiche dargestellt. Der Bericht legt Hauptaugenmerk auf konzentrierende Kollektoren, da es für diese bisher keine Empfehlung für Testprozeduren gab.

## **6.b.2 Subtask B**

### **6.b.2.1 Werkzeuge zur verbesserten Integration von solarer Prozesswärme**

Für die Analyse und Evaluierung von Tools zu Wärmeintegration und Speichermanagement für die bestmögliche Integration von solarer Prozesswärme wurde von Planair (CH) und AEE INTEC eine Liste an vorhandenen bzw. in Entwicklung befindlichen Tools erstellt. Im Rahmen eines Berichts „Methodologies and Software Tools for Integrating Solar Heat into Industrial Processes“ (Muster and Krummenacher, 2015) sind einige der Tools vorgestellt. Weiters ist die Vorgehensweise festgehalten, prinzipielle Integrationspunkte mit Hilfe einer Prozessintegrationsstudie vorab auszuwählen. Dabei

fließen die Überlegungen der solaren Prozesswärme in die Prozessintegrationsstudie direkt ein: Nach einem ersten Wärmeintegrationskonzept können die möglichen Integrationspunkten für Solare Prozesswärme eingegrenzt werden. Eine weitere Eingrenzung geschieht dann durch die Planungsschritte des Solaren Prozesswärmeprojektes (siehe dazu Integration Guideline). Die bestmöglichen Konzepte werden dann in einer gesamtheitlichen Analyse mit Hilfe der Prozessintegration wiederholend evaluiert (siehe Abbildung 1). Die Integration der Solaren Prozesswärme als Utility kann in der methodischen Vorgehensweise der Pinch Analyse in der ersten Eingrenzung der Möglichkeiten, wie auch bei der endgültigen Prozessintegration des Gesamtsystems, erfolgen (siehe Abbildung 2). Das Dokument richtet sich prinzipiell an Experten im Bereich Prozessintegration, um auch unter diesen Stakeholdern die Möglichkeiten der Solaren Prozesswärmeeinbindung weiter zu verbreiten.

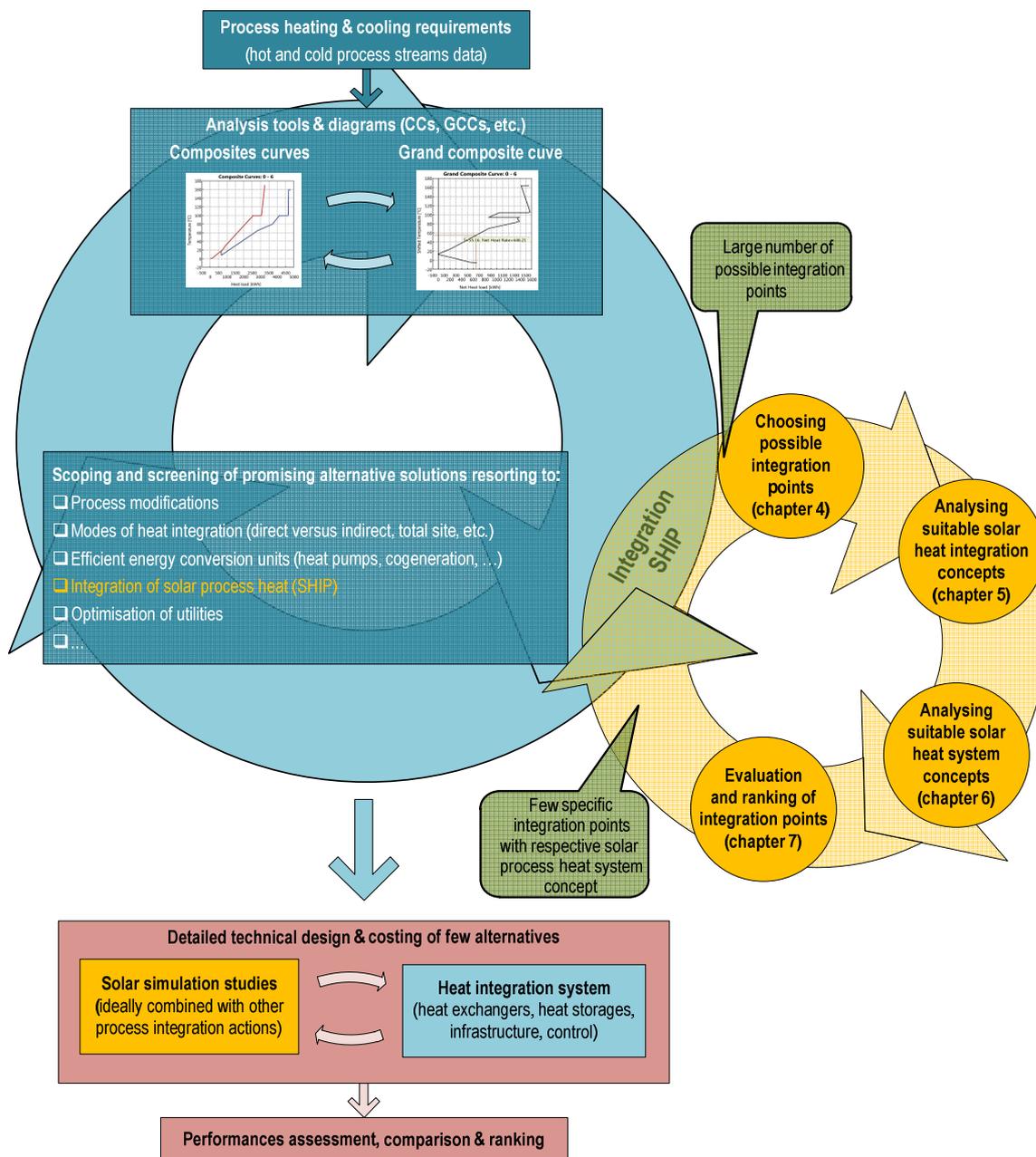
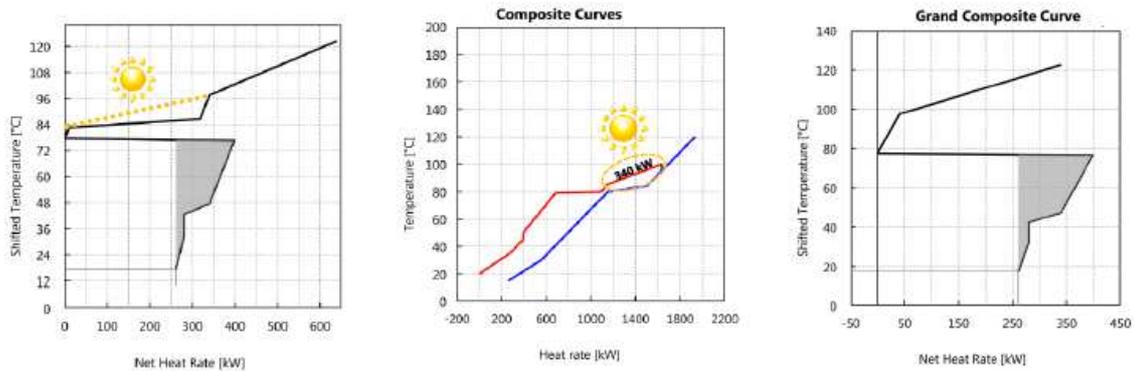
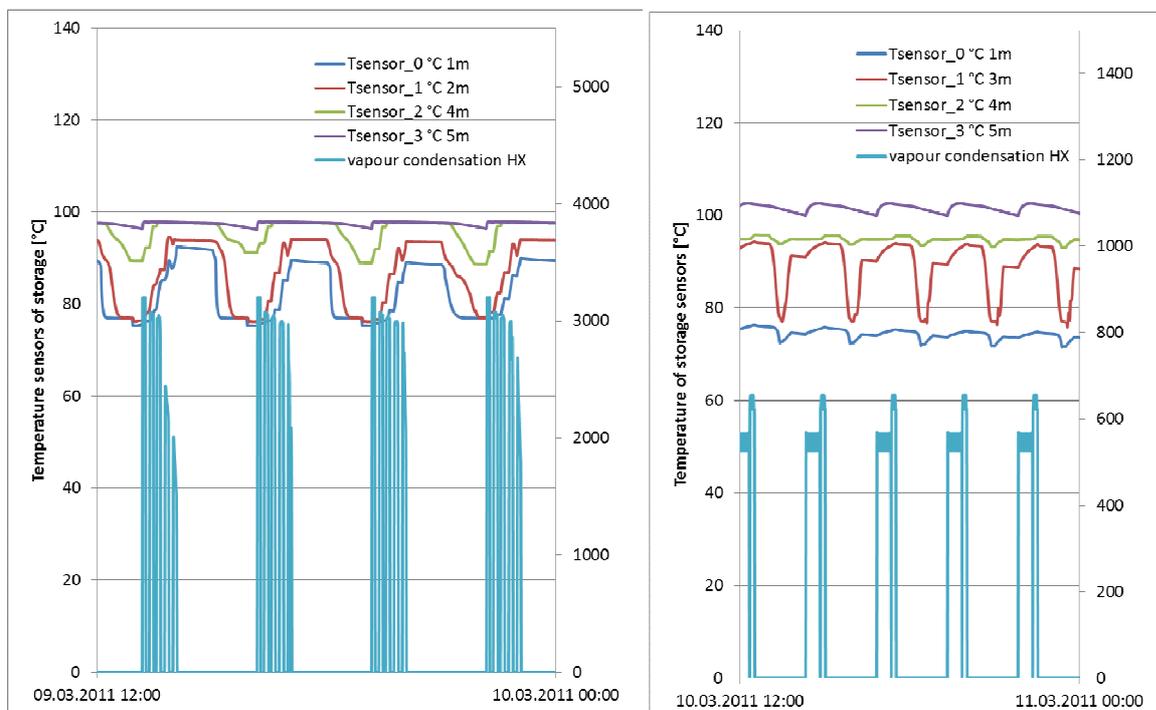


Abbildung 1: Workflow Prozessintegrationsstudien erweitert für Solare Prozesswärme



**Abbildung 2: Einbindung von Solarer Prozesswärme in der Pinch Analyse nach Analyse der Grand Composite Curve**

Im Rahmen der österreichischen Aktivitäten in der Tool Entwicklung, konnte während der Laufzeit des SHC Task 49/IV die Software SOCO fertiggestellt werden. Im Rahmen der Task 49/IV wurde die Software auch an weiteren Instituten getestet und evaluiert. An der AEE INTEC wurde das Tool anhand mehrerer Fallstudien getestet und im Rahmen einer Diplomarbeit mit bestehenden Tools verglichen. Die Ergebnisse zeigen ein vielversprechendes Einsatzpotential der Software, da die Simulation des Wärmeaustausches und der Wärmeübergabe in Speicher von variablen Prozessströmen mit der Software sehr gut funktioniert und der Einfluss von Design-Parametern gut evaluiert werden kann. Besonderes Interesse weckt die Kombination von Wärmetauschern und Energiespeichern, sowie die zeitlich aufgelöste Darstellung der Wärmetauscher-Leistung und der Temperaturschichtung im Speicher. Die Modellierung von Wärmesystemen mit variablen Prozessströmen konnte sehr gut umgesetzt werden. Zukünftige Zielstellung ist eine gekoppelte Simulation von Wärmeversorgung und Prozesswärmeströme.



**Abbildung 3: Temperaturverteilung in Speichern und Leistungsvariation eines Wärmeaustausches - Ergebnis einer SOCO Simulation (Muster-Slawitsch et al., 2014)**

### 6.b.2.2 B2 Integration Guideline

Bei der Integration von Solarwärme in industrielle Prozesse ist das Ziel, den technisch und wirtschaftlich best-geeigneten Integrationspunkt und das am besten geeignete Integrationskonzept zu finden. Aufgrund der Komplexität der Wärmeversorgung und -verteilung in der Industrie, wo eine große Anzahl an Verfahren thermische Energie benötigen, ist diese Aufgabe nicht immer einfach. Das im Rahmen des IEA Task 49/IV unter der Leitung der AEE INTEC erarbeitete Dokument „Integration Guideline“ ist ein Leitfaden für Solar-PlanerInnen, EnergieberaterInnen und ProzessingenieurInnen, welcher die allgemeine Vorgehensweise für Solarwärmeintegration, die ersten Schritte zur Identifizierung geeigneter Integrationspunkte für eine Solaranlage in der Industrie und die verfügbaren Integrationskonzepte zeigen soll. Detaillierte Planungsschritte für die Planung der solarthermischen Anlage mit Simulationstools sind nicht Teil der Integration Guideline. Das Dokument kann als unterstützendes Material für Schulungen von PlanerInnen, EnergiemanagerInnen oder -beraterInnen im Bereich der solaren Prozesswärme oder als zusätzliche Hilfe für Energie-ExpertInnen, neben ihrer eigenen praktischen Erfahrung, gesehen werden. Das Dokument enthält keine Beschreibung zu den detaillierten Planungsschritten des Solarsystems an sich.

Die Integration von Solarwärme ist an mehreren Stellen in der Wärmeversorgung und im Verteilungsnetz eines industriellen Produktionsprozesses möglich (siehe Abbildung 4). Kapitel 2 der Integration Guideline gibt daher einen Überblick über die Wärmeversorgung und-verteilung in der Industrie, beginnend mit einer kurzen Beschreibung der Wärmeversorgungsanlagen und der Verteilungsmedien. Auf der Prozessebene werden im Grunde die bestehenden Wärmeübertragungskonzepte (z.B.: Art des Wärmetauschers und Kontrollstrategien) darüber entscheiden, wie Solarwärme in die Prozesse integriert werden kann. Kapitel 2 beschreibt demzufolge die grundlegenden bestehenden Konzepte zur Wärmeübertragung in der Industrie. Es zeigt, dass die Vielzahl der verschiedenen wiederkehrenden thermischen Prozesse in der Industrie gut in Unit Operations eingeteilt werden können, sowie auch geeignete Integrationskonzepte und Solare-Prozesswärmekonzepte je Unit Operation dargestellt werden können. Dies wurde, und wird auch in Zukunft, in der Online Wiki-Web Datenbank „Matrix of Indicators“ (online verfügbar), welche, neben anderen, ein Informationsportal für solarthermische Integration ist, realisiert werden.

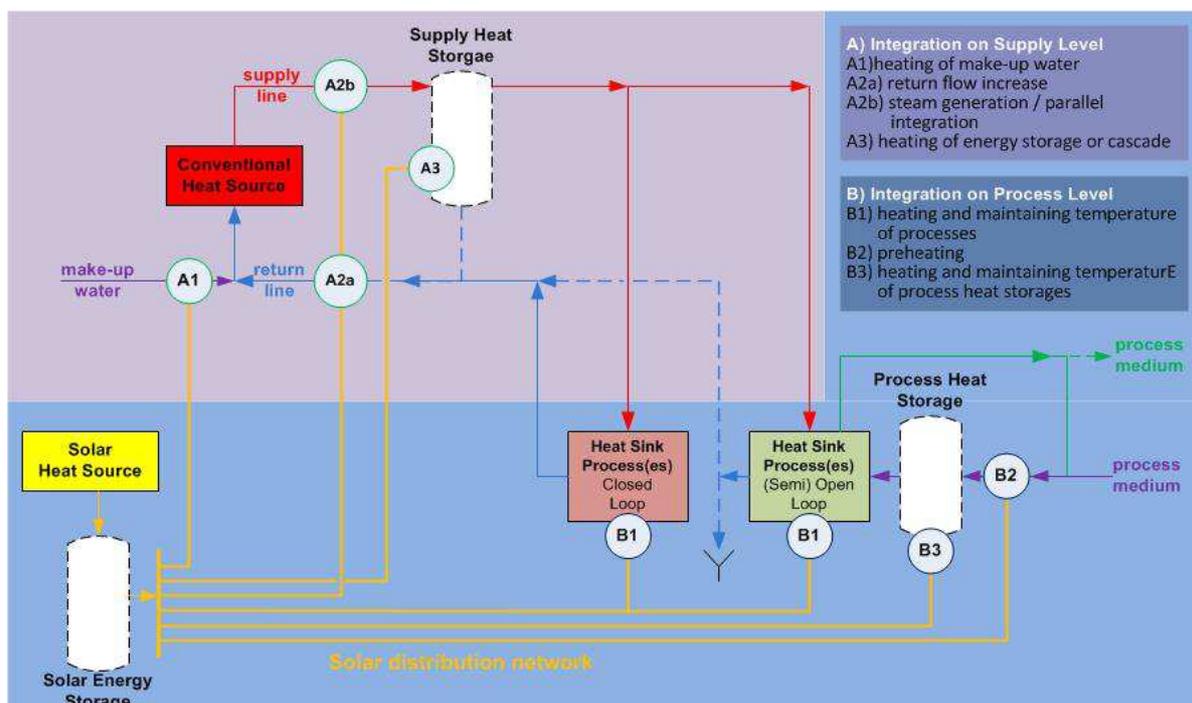
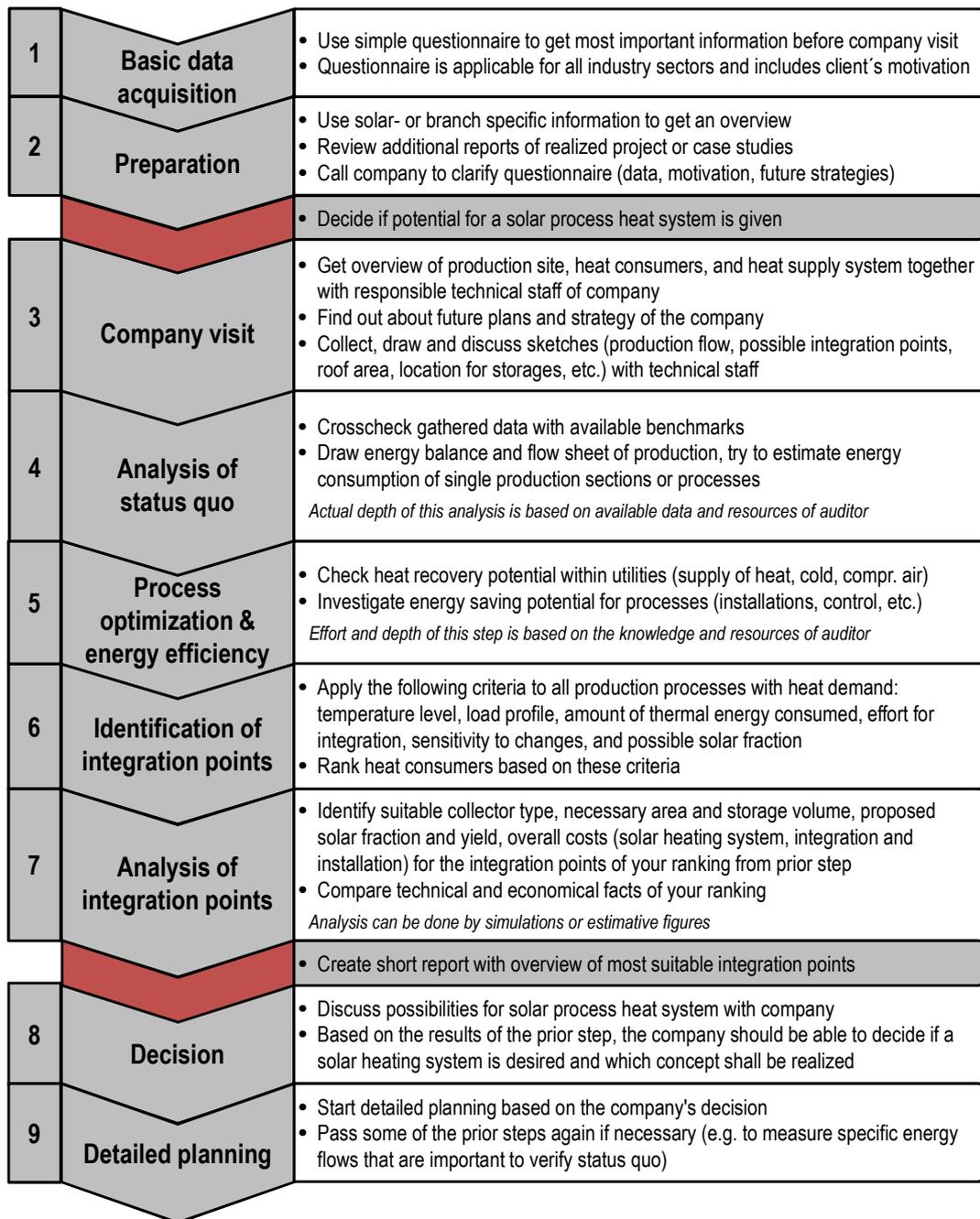


Abbildung 4: Mögliche Integrationspunkte für Solare Prozesswärmeanwendungen

Nach der Zusammenfassung einiger Grundlagen der Wärmeversorgung und der Verteilungsnetze in Kapitel 2, stellt Kapitel 3 der Integration Guideline die „Bewertungsmethode für Solar-thermische Integration“, welche innerhalb des IEA Task 49/IV definiert wurde, vor. Diese Methode baut auf bestehende Strategien, z.B. IEA Task 33, auf und fasst die wichtigsten Schritte für die Planung eines Solaren Prozesswärmesystems in der Industrie zusammen. Diese Schritte beinhalten eine prinzipielle Machbarkeitsstudie (Schritte 1-3), einen Unternehmensbesuch (Schritt 4), die Analyse des Status-quo (Schritt 5), Energieeffizienzüberlegungen (Schritt 6) und die Identifizierung von Integrationspunkten (Schritt 7). Des Weiteren ist die Analyse dieser als geeignet gewählten Integrationspunkte (Schritt 8) für die Planung des Solarthermischen Systems notwendig, um herauszufinden, wo mögliche Solarintegrationskonzepte (für einen und mehrere Integrationspunkte) wirtschaftlich und energetisch vergleichbar sind aufgrund technischer und wirtschaftlicher Erwägungen. Hier ist bereits eine grundlegende Planung der Solaranlage(n) notwendig, um das optimale Kosten/Nutzen Verhältnis einschließlich der Definition einer geeigneten Kollektorfeldgröße, des Speichervolumens und der Art der eingesetzten Solarthermischen Kollektoren zu bestimmen. Nach der Entscheidung (Schritt 9) wird aufgrund dieser Analyse die detaillierte Planung starten (Schritt 10). Wie oben hervorgehoben, enthält die Integration Guideline nur die Schritte 1-7. Details zum Design des Solarsystems werden an anderer Stelle gegeben (siehe geplante IEA Task 49/IV Handbuch aus Subtask C).



**Abbildung 5: Bewertungs-Methodik für Solar-thermische Integration**

Kapitel 4 ist den Energieeffizienzüberlegungen in der Industrie gewidmet und zeigt, wie die Prozessintegration als Basis für die Ermittlung möglicher Integrationspunkte für Solaranlagen genutzt werden könnte.

In Kapitel 5 der Guideline werden Integrationskonzepte erläutert und in Versorgungs- und Prozessebene eingestuft. Auf der Versorgungsebene basiert die Klassifizierung weiters auf dem bestehenden Wärmeträgermedium, während auf der Prozessebene die Klassifizierung auf der Wärmeübertragungstechnik beruht (Art der Wärmetauscher, ...). Die Integrationskonzepte zeigen, wie Solarwärme in die industrielle Versorgung oder die industriellen Prozesse integriert werden kann. Ein Beispiel dazu ist in Abbildung 7 dargestellt.

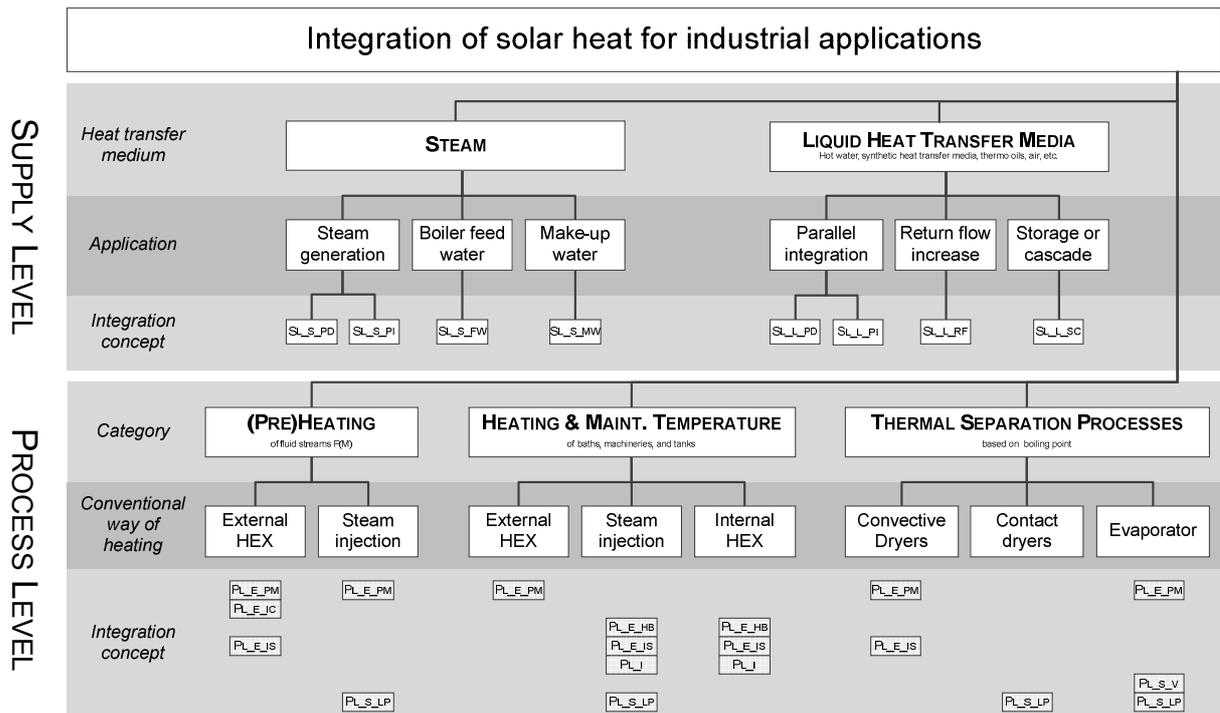


Abbildung 6: Klassifikation von industriellen Wärmeverbrauchern zur Integration von Solarthermie

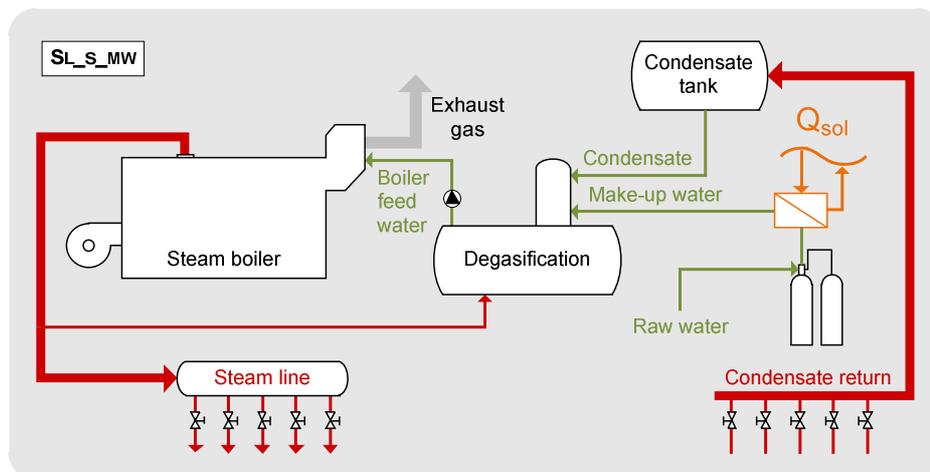


Abbildung 7: Integrationskonzept für das Vorheizen von Make-up-Wasser (SL\_S\_MW)

In der Integration Guideline baut Kapitel 6 auf die Einführung dieser Konzepte auf und zeigt außerdem wie sie zu kompletten Solaren-Prozesswärmekonzepten erweitert werden können. Dazu gehören Details zum Solarthermischen Kollektorfeld, der solaren Versorgungsschleife, der Solarenergiespeicher sowie der Gesamtregelungsstrategie (z.B. Entladungsstrategien).

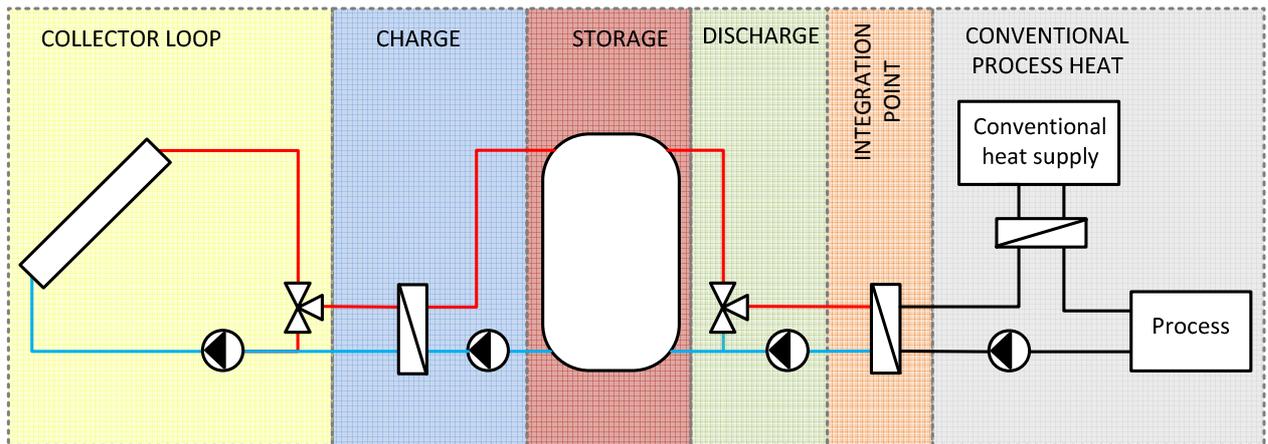


Abbildung 8: Unterteilung des SHP-Systems exemplarisch für das Integrationskonzept PL\_E\_PM

Kapitel 7 beschreibt schlussendlich, wie geeignete Integrationspunkte identifiziert werden können. Auf der einen Seite bauen diese auf der Analyse des Status-quo und/oder den Effizienzüberlegungen auf, auf der anderen Seite werden mögliche Solarintegrationskonzepte schon berücksichtigt, da ihre Spezifikationen die Eignung eines Integrationspunktes gegenüber einem anderen beeinflussen können.

|             | PL_E_PM | PL_E_HB | SL_S_PD | SL_S_FW | PL_E_PM | PL_E_IC |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|             | Sink 1  | Sink 2  | Sink 3  | Sink 3  | Sink 4  | Sink 5  |
| Demand      | Green   | Green   | Green   | Green   | Green   | Red     |
| Schedule    | Yellow  | Yellow  | Green   | Green   | Green   | Green   |
| Technology  | Yellow  | Green   | Yellow  | Yellow  | Yellow  | Yellow  |
| Reliability | Red     | Green   | Yellow  | Yellow  | Green   | Yellow  |
| Cost        | Red     | Green   | Green   | Green   | Red     | Red     |
| Benefit     | Red     | Yellow  | Green   | Red     | Yellow  | Red     |
| Efficiency  | Yellow  | Green   | Red     | Red     | Yellow  | Red     |

Abbildung 9: Die Bewertungsmatrix

Die Integration Guideline steht auf der Homepage des IEA Task 49/IV zum Download bereit [5].

### 6.b.2.3 B3 Neue Konzepte für Integration von Solarthermie

Die neue Klassifikation von industriellen Wärmeverbrauchern zur Integration von Solarthermie basiert auf der Wärmeübertragungstechnik des einzelnen Prozesses. Damit kann diese Klassifikation und die dazu neu entwickelten Integrationskonzepte für jegliche Prozesstechnologie Anwendung finden, sei es eine herkömmliche Technologie oder einer der „emerging technologies“. Diese neue Integrationskonzepte wurden in die bestehende Datenbank „Efficiency Finder“ („Matrix of Process

Heat Indicators“) integriert. Die „Matrix of Process Heat Indicators“ stellt für unterschiedliche Verfahrensschritte dar, welche Integrationskonzepte basierend auf der angewandte Prozesstechnologie möglich sind.

Die Erweiterung auf SHIP Konzepte kann auf Basis dieser Integrationskonzepte erfolgen. In der Integration Guideline wurde dazu eine vereinfachte Matrix erstellt, die darstellt, welche solaren Systemkonzepte mit den Integrationskonzepten verknüpft werden können.

| Solar heating system concept |                            |                      |         | Non-steam applications                                       |  |   |   | Steam applications                  |                           |
|------------------------------|----------------------------|----------------------|---------|--|--|---|---|-------------------------------------|---------------------------|
|                              |                            |                      |         | Indirect heating of fluid stream via external heat exchanger | Indirect heating of fluid stream via pre-heating storage | Indirect heating of bath / vessel via internal heat exchanger | Direct heating network integration in parallel or via return-flow boost | Direct heating of air (open system) | Indirect steam generation |
| Supply Level                 | Steam network              | Steam generation     | SL_S_PD |  |  |   |   |                                     | X                         |
|                              |                            |                      | SL_S_PI |  |  |   |   | X                                   |                           |
|                              |                            | Boiler feed water    | SL_S_FW | X  |  |   | (X)   |                                     |                           |
|                              |                            | Make-up water        | SL_S_MW | X  | X  |   |   |                                     |                           |
|                              | Liquid heat transfer Media | Parallel integration | SL_L_PD |  |  |   | X   |                                     |                           |
|                              |                            |                      | SL_L_PI | X  |  |   |   |                                     |                           |
|                              |                            | Return flow increase | SL_L_RF | X  |  |   | X   |                                     |                           |
|                              | Storage or cascade         | SL_L_SC              | X       | (X)  | X  |   |   |                                     |                           |
| Process Level                |                            | PL_E_PM              | E       | X  | (X)  | (X)   |   |                                     |                           |
|                              |                            | PL_E_IC              |         |  |  |   |   |                                     |                           |
|                              |                            | PL_E_IS              |         |  |  |   |   |                                     |                           |
|                              |                            | PL_S_V               |         |  |  |   |   |                                     |                           |
|                              |                            | PL_E_HB              |         |  |  |   |   |                                     |                           |
|                              |                            | PL_I                 | I       |  |  | X   |   | (X)                                 |                           |
|                              |                            | PL_S_LP              | N       |  |  |   | X   | X                                   |                           |

Abbildung 10: Zuordnung von solaren Systemkonzepten zu den Integrationskonzepten (Hess und Helmke, 2015)

#### 6.b.2.4 Bericht über Potentiale zur Verbesserung solarer Integration mit neuen Prozesstechnologien

Im Zuge der erstrebten Umstellung zu nachhaltiger Produktion (green process engineering), beginnt die Industrie traditionelle Produktionstechnologien zu überdenken. Im Bereich der (chemischen) Verfahrenstechnik werden Schlagworte wie „Re-industrialisierung“ hin zu grünen und sicheren Produktionsprozessen genannt. Dabei werden emerging technologies immer wichtiger.

Offensichtlich haben Änderungen in Industrieprozessen auch Effekte auf Energieversorgungsstrategien. Einige der derzeit viel erforschten Technologien basieren auf Mikrowellen, Ultraschall oder Plasma, daher könnte es einen Trend hin zu erhöhtem Strombedarf geben, aber auch weniger Abwärme im Niedertemperaturbereich zur Versorgung von Niedertemperaturanwendungen. Neue Technologien können auf mehreren Ebenen Auswirkungen auf nachhaltige Energieversorgung haben:

- Durch erhöhte Prozesseffizienz kann der Energiebedarf sinken,
- die Änderung von Triebkräften kann Auswirkungen auf die benötigte Energieform haben; und schließlich
- können durch neue Umwandlungstechnologien neue Energiequellen erschlossen werden.

Im Rahmen der Arbeiten in B5 des Subtask B wurde in diesem Kontext besonders die Frage behandelt: „Welche neuen Technologien können die Einsatzmöglichkeiten von Solarer Prozesswärme erhöhen?“

Es wurden zwei Workshops veranstaltet, um Prozesstechnologen und Solarthermie-Experten zur Diskussion dieser Fragestellung zusammen zu bringen. Das darauf basierende Ergebnisdokument „Potential Enhancement of Solar Process Heat by Emerging Technologies“ (Muster et al., 2016), stellt einige neuen Prozesstechnologien dar, die den Einsatz von Solarthermie in Produktionsprozessen im Vergleich zu herkömmlichen Technologien (besser) ermöglichen können. Dabei sind einerseits Membranprozesse relevant, die Versorgungstemperaturen von herkömmlichen Prozessen unterschreiten, oder Strategien zu kontinuierlicher Prozessführung, die durch geringere Spitzenleistung die Einbindung von Solarthermie besser ermöglicht. Aber auch Technologien wie Solaröfen oder Speicherung von Solarwärme bei hoher Temperatur zur Versorgung von Hochtemperaturprozessen zeigen neue Möglichkeiten. In wie weit Produktionstechnologien in Zukunft auf die zukünftige hybride Energieversorgung der Industrie zugeschnitten werden können, ist eine über die Aktivitäten des IEA Task 49/IV hinausgehende Forschungsfragestellung.

### **6.b.3 Subtask C**

#### **6.b.3.1 Design-Richtlinien für Solare Prozesswärmesysteme**

Als zusammenfassendes Ergebnis aller Subtasks wird im Jahr 2016 ein Handbuch veröffentlicht, welches alle Aspekte der Planung und Realisierung von Solaren Prozesswärmeanlagen behandelt und auf Detaildokumente, die zu einzelnen Punkten im Rahmen des Task 49/IV veröffentlicht wurden, verweist. In diesem Dokument wird auch speziell auf die Finanzierungsmöglichkeiten eingegangen, die von der Fa. SOLID erarbeitet und zusammengestellt wurden.

#### **6.b.3.2 Berechnungswerkzeug für schnelle Machbarkeitsstudien**

Innerhalb der österreichischen Aktivitäten wurde ein Berechnungswerkzeug von Großsolaranlagen entwickelt. Für das Planungstool für Großsolaranlagen für industrielle Anwendungen wurde aus den Erfahrungen der durchgeführten Demonstrationsprojekte ein Berechnungswerkzeug auf Excel und VBA Basis entwickelt. Wetterdaten für 10 europäische Städte in verschiedenen klimatischen Zonen wurden hinterlegt. Der zu versorgende thermische Prozess kann mit Massenstrom, Wärmekapazität und Temperaturen definiert werden. Bei der Einbindung des Planungstools in das GREENFOODS Branchenkonzept kann ein zuvor definierter Prozess ausgewählt werden. Entsprechend den benötigten Temperaturen kann mittels eingeleiteter Kollektordaten der passende Kollektortyp ausgewählt werden. Basierend auf diesen Daten wird die solare Großanlage auf die monatlichen Tagesmaximalwerte ausgelegt und für das gesamte Jahr mit stündlichen Einstrahlungsdaten simuliert. Darauf aufbauend wird eine vereinfachte Speicherdimensionierung durchgeführt und wichtige Kenndaten ausgegeben. Das Werkzeug wird nun bei existierenden Anlagen evaluiert und verbessert.

## Solar Process Heat

Calculates the maximal aperture area of a solar process heat plant depending on 1) climate, 2) collector type, 3) process definition, 4) temperature drops in solar heat system

<< Return to Opt. Measures    Confirm & Return to Opt.

Handbook    Economics

---

### Solar Loop

Select Collector Type  
Plate Plate Collector Standard

Select Climate Region  
Vienna  
South orientation  
35° inclined

T Difference in Solar HK: 2 [K]

Storage  
Temperature Loss in Storage: 5 [K]

T Difference in Process HK: 2 [K]

Process Loop  
Select process or enter individual data.  
CIP\_startup

Max. power of process: 1.382,00 [kW]

T Inlet: 10,00 [°C]

T Outlet: 60,00 [°C]

Operating Hours: 5000 [hours/year]

Operating Days: 330 [days/year]

Daily Energy Demand: 20.939 [kWh/day]

Yearly Energy Demand: 6.910.000 [kWh/year]

Wiki: Solar heat in 'Dairy'

System costs: 440000 [€]

Wiki: Solar system costs

Calculate

Collector field size (aperture area): 3.914 [m<sup>2</sup>]

Enter alternative field size (aperture area): 3914 [m<sup>2</sup>]

Max. daily utilization rate: 69 [%]

Yearly utilization rate: 55 [%]

Solar fraction: 38 [%]

Solar yield: 2.626.286 [kWh/a]

Specific solar yield: 671 [kWh/m<sup>2</sup>.a]

Storage size: 311 [m<sup>3</sup>]

Mounted on:  
Roof  
 flat roof

Total available space: 2.000 [m<sup>2</sup>]

Already occupied space: 0 [m<sup>2</sup>]

Free space: 2.000 [m<sup>2</sup>]

Required space: 4.305 [m<sup>2</sup>]

Abbildung 11: Berechnungswerkzeug für Machbarkeitsstudien (AEE INTEC)

### 6.b.3.3 Bericht über Simulationstools, Durchführung von Fallstudien

Durch den deutschen Task 49/IV Partner Fraunhofer ISE wurde ein "Round Robin" Simulationstest entwickelt. Vier unterschiedliche Fallbeispiele wurden definiert mit unterschiedlichen Kollektortypen und drei unterschiedlichen Standorten. Das Ziel dieses Simulationstests war es die verschiedenen Simulationstools zu vergleichen und deren Vor- bzw Nachteile zu identifizieren. Bei dem Test wurden konzentrierende und nicht-konzentrierende Kollektoren mit unterschiedlichen Wärmeträgermedien verglichen. AEE INTEC hat mit dem Programm T-Sol bei diesem Test unterstützt.

Als Ergebnis steht ein umfassender Bericht (Platzer et al., 2015) zur Verfügung, der unterschiedliche Simulationstools vorstellt und deren Einsatzbereiche darstellt. Folgende Simulationstools wurden betrachtet:

- Trnsys
- Colsim
- Insel
- TSol
- Polysun
- Greenius
- Excel-SOPRO

### 6.b.3.4 Bewertungsmethoden

Im Rahmen der Expertentreffen wurde die Herangehensweise für einen objektiven Vergleich unterschiedlicher solarer Prozesswärmesysteme diskutiert und schließlich in einem Bericht „Performance Assessment Methodology“ (Platzer, 2015) methodisch festgehalten. Das definierte „Total Performance Assessment“ vergleicht Projektalternativen oder existierende Anlagen auf Basis von energetischen, wirtschaftlichen und Umwelt- Aspekten. Die Indikatoren werden entweder auf den gesamten Prozesswärmebedarf des Standortes oder einer Produktionseinheit bezogen. Damit werden auch zusätzliche Optimierungsmaßnahmen am Gesamtsystem berücksichtigt.

### 6.b.3.5 C4 - Internationale Datenbank von Best-Practice Demonstrationsanlagen

2013 wurden in Österreich zwei solare Großanlagen bei der Brauerei Göss aus dem FP 7 Projekts „Solarbrew“ und bei der Fleischerei Berger von der Firma SOLID aus dem FP 7 Projekt INSUN

errichtet. Die Monitoring-Ergebnisse aus diesen, aber auch internationalen Großanlagen, wurden im Rahmen der Task 49/IV aufbereitet und diskutiert und zeigen grundsätzlich gute Übereinstimmungen von projektierten und erreichten Zahlen.

Auf Basis eines von AEE INTEC entwickelten Fragebogens wurden Kennzahlen von existierenden SHIP Anlagen international erhoben und eine online Datenbank entwickelt ([www.ship-plants.info](http://www.ship-plants.info)). Bis Jänner 2016 konnten 188 Anlagen weltweit dokumentiert werden mit einer Gesamtgröße von 154.574 m<sup>2</sup> Bruttokollektorfläche. Die folgende Abbildung zeigt die weltweite Verteilung der Anlagen (Abbildung 12).

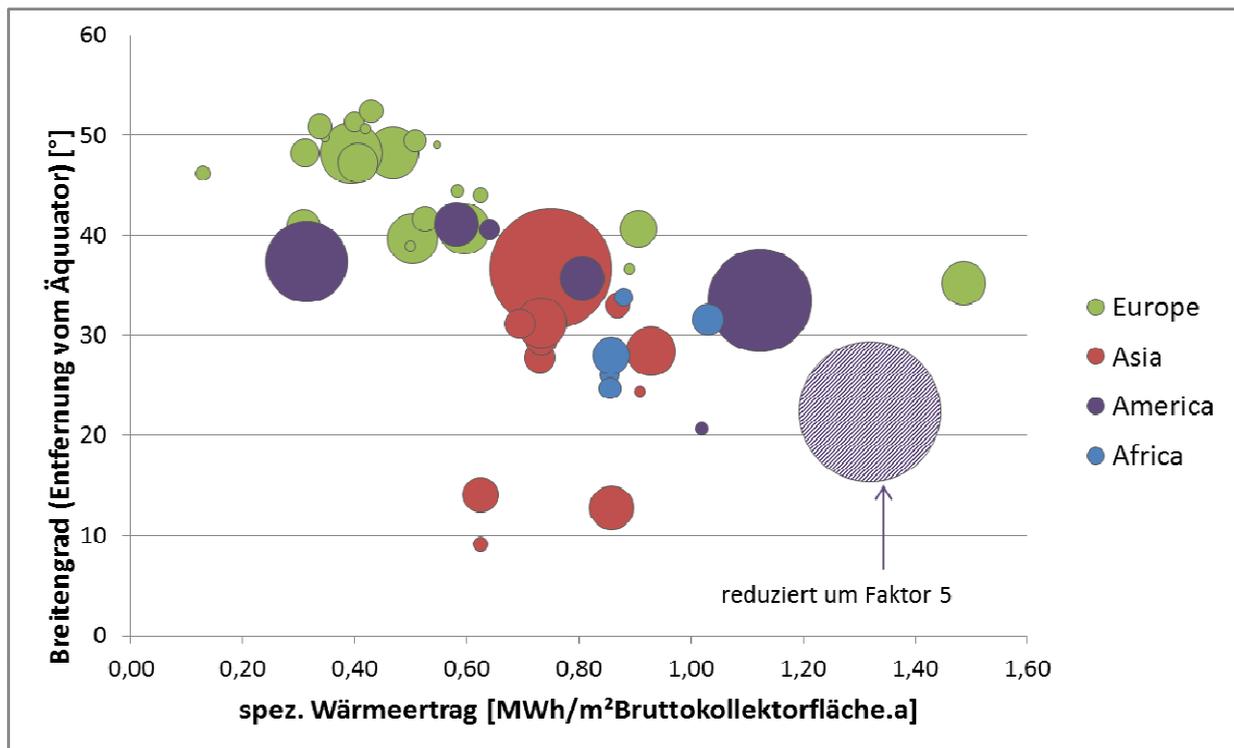


**Abbildung 12: Ort und Anzahl der dokumentierten Anlagen (ship-plants.info)**

Viele Anlagen sind relativ klein (zwischen 100 und 200 m<sup>2</sup>), wobei in den letzten Jahren ein Trend hin zu großen Anlagen zu verzeichnen ist. Ein Beispiel dieser Großanlagen ist die Kupfermine Codelco in Chile, als größte derzeit dokumentierte Prozesswärmeanlage. Nur 22 der 188 dokumentierten Anlagen haben eine Bruttokollektorfläche > 1000 m<sup>2</sup>, aber repräsentieren gemeinsam 69% der gesamten dokumentierten Kollektorfläche.

Die meisten Anlagen in der SHIP Datenbank verwenden Flachkollektoren (88 Anlagen), gefolgt von Vakuumröhrenkollektoren (35 Anlagen) und Parabolrinnen (22 Anlagen). Die Wahl des Kollektortyps wird offensichtlich auch durch den Einsatzort beeinflusst.

Für 105 Anlagen ist ein Integrationspunkt dokumentiert. Basierend auf diesen Angaben sind 38% der Anlagen auf versorgungsebene integriert, wobei 18 Anlagen für das Aufheizen von Kesselzusatzwasser verwendet werden, und 10 Anlagen direkt in die Dampfleitung einspeisen. 62% der Anlagen integrieren die Solarwärme auf Prozessebene. Die meisten davon beheizen direkten einen speziellen Prozess (33 Anlagen), gefolgt von der Vorwärmung eines Prozessmediums (24 Anlagen).



**Abbildung 13: Spezifischer Wärmeertrag für 49 Anlagen mit Daten zu Wärmeerträgen von insgesamt 188 Einträgen in der SHIP Datenbank. Die Kreisfläche ist proportional zur Bruttokollektorfläche der Anlagen (Ausnahme: Um eine ansprechende Darstellung zu ermöglichen, wurde die größte Anlage – Codelco Mine in Chile mit 39.300 m<sup>2</sup>Bruttokollektorfläche – um den Faktor 5 verkleinert dargestellt). Quelle: Auswertung von ship-plants.info, AEE INTEC**

### 6.b.3.6 Potentialstudien

Auf Basis unterschiedlicher nationaler, sowie globaler Potentialstudien wurde ein Übersichtsdokument „Potential studies on solar process heat worldwide“ (Platzer et al., 2015) erstellt. Das Potential, welches in der Größenordnung von 2000-3000 Mio m<sup>2</sup> für weltweite Solare Prozesswärmeanlagen liegt, ist bei weitem noch nicht ausgeschöpft.

Der gesamte Prozesswärmebedarf lag im Jahr 2008 bei ca. 98 EJ. Das technische Potential für Solare Prozesswärme kann konservativ mit 4% abgeschätzt werden, entsprechend 3,9 EJ oder 2.300 Mio m<sup>2</sup> Kollektorfläche (Annahme Jahreseinstrahlung 1200 kWh/(m<sup>2</sup>a) und Jahressystemnutzungsgrad 40 %). Die bestehenden nationalen und globalen Studien bestätigen diese Größenordnung.

## 6.c Veröffentlichungen

Deliverables des Task 49IV stehen auf der Homepage <http://task49.iea-shc.org> zum Download bereit. Weitere Publikationen sind im Anhang dargestellt.

| Berichte/Leitfäden  | Subtask, Authors                                  | Link zum Download   |
|---|---|---|
| A 1.2 Overheating prevention and stagnation handling in solar process heat applications | Elimar Frank<br>Franz Mauthner<br>Stephan Fischer | <a href="http://task49.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA%20Task%2049_Deliverable%20A1_Frank_Overheating%20StagnationReport_approved_v-">http://task49.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA%20Task%2049_Deliverable%20A1_Frank_Overheating StagnationReport_approved_v-</a> |

|  |   |   |
|--|---|---|
|  |   | 2-3.pdf   |
| B1 Methodologies and Software Tools for Integrating Solar Heat into Industrial Processes | Krummenacher<br>Pierre, Muster<br>Bettina   | <a href="http://task49.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA%20Task%2049_Deliverable%20B1_20150218.pdf">http://task49.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA%20Task%2049_Deliverable%20B1_20150218.pdf</a> |
| B2 Integration Guideline   | Bettina Muster<br>Ilyes Ben Hassine,<br>Annabell Helmke,<br>Stefan Heß, Pierre<br>Krummenacher,<br>Bastian Schmitt,<br>Hans Schnitzer | <a href="http://task49.iea-shc.org/Data/Sites/7/150218_iea-task-49_d_b2_integration_guideline-final.pdf">http://task49.iea-shc.org/Data/Sites/7/150218_iea-task-49_d_b2_integration_guideline-final.pdf</a>       |

Folgende Deliverables sind noch im Review Prozess, der im Frühjahr 2016 abgeschlossen wird.

A1.3 Horta et al., 2016, Brochure on solar process heat collectors

A2 Giovannetti et al, 2016, An overview of collector output and key figures for defined conditions

A3.1 Fahr and Kramer, 2016, Guideline on testing procedures for collectors used in solar process heat

B4 Muster et al., 2016, Catalogue for required components for advanced integration

B5 Muster et al., 2016, Potential Enhancement of Solar Process Heat by Emerging Technologies

B6 Muster et al., 2016, General Booklet Subtask B

C1 Platzer et al., 2016, Design Guidelines

C2 Platzer et al., 2016, Overview and description of simulation tools for solarindustrial process heat systems

C3 Platzer, 2016, Performance assessment methodology and simulation case studies

C5 Platzer et al., 2016, Potential studies on solar process heat worldwide

## 7. Vernetzung und Ergebnistransfer

Die Zielgruppe für die Ergebnisse in Österreich sind einerseits Solarfirmen, aber auch Planer, Energieberater, Energieauditorien und Energiemanager in Betrieben, die sich mit dem Einsatz von erneuerbarer Energie in Produktionsbetrieben beschäftigen und Realisierungen vorantreiben. Letztlich werden natürlich Forschungsinstitute angesprochen, die durch die Ergebnisse des IEA Task 49/IV neue Inputs für zukünftige Forschungszielsetzungen bekommen. Für strategische Entscheidungsträger sind die Ergebnisse des Task 49/IV maßgeblich wichtig, da sie die technologische Machbarkeit weiter beweisen, sowie das noch immer wenig genutzte Potential aufzeigen und auf wichtige zukünftige Fragestellungen zur Erschließung des Marktes aufmerksam machen.

Die Einbindung von Stakeholdern erfolgte im Zuge von laufenden nationalen Projekten wie Solarbrew, SOCO, GREENFOODS, Enpro, Solarfoods, Großsolarförderprogramm Begleitforschung, Methodica, MidTempColl, INSUN, MasterCPC, ISolar, Innoluko, Kombine, IEA SHC Task 39, IEA SHC Task 42, QAIST, Tes4seT StoreITup!, FlowTCS, Sotherco. In all diesen Projekten wurde und wird mit Betrieben an umsetzungsrelevanten Fragestellungen gearbeitet.

Der Mehrwert der IEA Task 49/IV Teilnahme für die österreichischen Akteure lag einerseits im internationalen Austausch und den persönlichen Kontakten zu Key Akteuren im Bereich Solare Prozesswärme. Anfragen aus aller Welt bezüglich der Task 49/IV Ergebnisse zeigen das große internationale Interesse und den hohen Bekanntheitsgrad der österreichischen Akteure. Die Vorreiterrolle der österreichischen Betriebe und Forscher wird durch die Ergebnisse des Task 49/IV weiter bewiesen: einerseits durch die Vielzahl der umgesetzten Demonstrationsprojekte in Österreich oder mit Beteiligung österreichischer Solarfirmen und Forschungseinrichtungen, andererseits durch die Publikation und Verbreitung von umfassenden Guidelines im Gebiet „Solare Prozesswärme“. Dabei ist u.a. die Publikation der „Integration Guideline“ hervorzuheben, sowie der Bericht über Maßnahmen und Vermeidung zur Stagnation oder der Bericht zu Testprozeduren.

Die Bearbeitung dieser umfassenden Dokumente konnte in dieser Qualität nur im internationalen Kontext durch Mitarbeit unterschiedlicher Akteure durchgeführt werden. So ist nicht nur die Abstimmung unter zentralen Akteuren ermöglicht, sondern auch ein bestmögliche inhaltliche Aufbereitung der Themen. Hier sind auch die Diskussionen in den Expertentreffen von hoher Bedeutung.

Der Zugang zu internationalen Monitoring Ergebnissen und praktischen Erfahrungen liefert für Solarfirmen, Planer und Forscher wichtige Hinweise für bestmögliche Umsetzungen. Die SHIP Datenbank, die mittlerweile über 170 Anlagen dokumentiert, ermöglicht Zugang zu einer Vielzahl an Informationen und Kontakten. Während der Laufzeit des IEA Task 49/IV wurden in Österreich zwei große Solaranlagen für Prozesswärme errichtet, bei der Brauerei Göss und bei Fleischwaren Berger. Der Vergleich von Monitoring Ergebnissen im internationalen Kontext bietet einen hohen Mehrwert. Mit Februar 2016 konnten 23 österreichische solare Prozesswärmeeinrichtungen in der SHIP Datenbank dokumentiert werden.

Österreichische Solarfirmen erhielten über den IEA Task 49/IV Zugang zu neuen Kontakten und Projekten. Neben der Fa. SOLID, die seit Beginn die Aktivitäten im Task 49/IV aktiv begleitet, konnte sich auch die Firma Fresnex an einem der Expertentreffen vorstellen und die Aktivitäten der Fa. Sunlumo wurden innerhalb der Ergebnispräsentation des Projektes MidTempColl der internationalen Community präsentiert.

Es gilt hervorzuheben, dass durch die internationale Zusammenarbeit und Diskussionen, immer wieder Anstoß zu gemeinsamen Projekten geschieht. So kann das EU Projekt TRUSTEE, welches sich mit neuen wirtschaftlichen Lösungen für Umsetzungen im Bereich Erneuerbarer Energie beschäftigt, Anfang 2016 in einem Konsortium auf sechs europäischen Instituten gestartet werden. Das Projekt SolarAutomotive als Kooperation deutscher und österreichischer Institute und Firmen wird ebenfalls 2016 beginnen. GREENFOODS ([www.green-foods.eu](http://www.green-foods.eu)) war ebenfalls ein durch die Zusammenarbeit im IEA Task (AEE INTEC, Universität Kassel, Universität Newcastle) initiiertes Projekt.

## 8. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Folgende fachlichen Schlussfolgerungen können zusammenfassend gezogen werden:

Die als Prozesswärmekollektoren eingesetzten Kollektoren sind sehr weit entwickelt und gut erforscht. Durch die Vermessung von Kennwerten kann eine gute Vorhersagbarkeit der Performance an verschiedenen Standorten erreicht werden, was u.a. durch die Software ScenoCalc bewiesen werden konnte. Neue Entwicklungen der Kollektoren fokussieren sich auch den Bereich von Mittel-Temperatur Kollektoren. Dieser Trend ist besonders wichtig, um einerseits die Temperaturanforderungen der Industrie bestmöglich abdecken zu können. Neue Kollektorentwicklungen, wie der im Projekt MidTempColl entwickelte Vakuumröhrenkollektor oder auch die Polymer-Kollektoren bieten erhebliches Kostenreduktionspotential und können durch ihre leichtere Bauweise prinzipiell auch auf weniger tragfähigen Industriehallen montiert werden. Die bisherigen Polymer-Kollektoren sind für den Einsatz in Haushalten optimiert und müssen für den Einsatz in der Prozesswärme zukünftig weiterentwickelt werden. Ebenso wird die Entwicklung von entsprechenden Systemlösungen notwendig sein.

Stagnationsmaßnahmen sind umfassend dokumentiert und die diesbezüglichen Lösungen sind bekannt. Die internationale Anwendung der Maßnahmen erfordert noch weitere Verbreitung der Erkenntnisse. Hinsichtlich der Testprozeduren können Empfehlungen für hoch-konzentrierende Systeme abgeleitet werden, da die bestehenden Testprozeduren für diese Systeme nicht ideal anwendbar sind.

Obwohl zur Erreichung hoher solarer Deckungsgrade bei industriellen Prozessen Wärmespeicher unumgänglich sind, gibt es bis dato relativ wenige Entwicklungen in diese Richtung (im Gegensatz zu Solarwärme für Haushalte oder Wärmenetze). Hauptgrund dafür sind die momentanen sehr geringen Deckungsgrade bestehender Anlagen, die auch mit kleinen Speichern auskommen, und die generell schwierige ökonomische Situation für solare Prozesswärmeanlagen. Die momentan verfügbaren State-of-the-Art Speicher (Wasserbehälter, Thermalölbehälter, Dampfspeicher) haben alle gewisse Nachteile (Speicherichte, Kosten, Temperaturniveau), welche mit neueren Technologien (Latentwärmespeicher, thermochemische Speicher) überwunden werden können. Am AIT werden bereits Entwicklungen für repräsentative Prozesse (Druckguss, Extrusion, Trocknung, Kochen) durchgeführt (Projekte StoreITup-IF, Tes4seT), allerdings sind zur Erreichung von hohen solareren Deckungsgraden in solaren Prozesswärmeanlagen noch vermehrte Anstrengungen notwendig.

Die Methodik und Vorgehensweise der bestmöglichen Integration von Solarer Prozesswärme in industrielle Prozesse ist gut dokumentiert. Erweiterte Wärmeintegrationstools bieten eine gute Basis für die Auswahl von grundsätzlich möglichen Integrationspunkten. Die Klassifikation von Integrationsschemata für Integrationspunkte auf Versorgungs- und Prozessebene bietet einen wichtigen Schritt zur Schaffung an Klarheit unter den vielen möglichen Integrationskonzepten. Die Erweiterung auf gesamte Solare Systemkonzepte für Prozesswärmeanlagen (SHIP Konzepte) kann dadurch gut erfolgen. Damit wird Planern eine klare Hilfestellung gegeben für einen gewählten Integrationspunkt ein technisch sinnvolles Systemkonzept auszuwählen. In Zukunft wird die Notwendigkeit an integrierten Simulationstools bestehen, die die Einbindung von Solarthermie, oder auch anderen Erneuerbaren Energien, gekoppelt mit Industrierwärmeströmen abbilden können um das Zusammenspiel von Solarthermie und den industriellen Wärmeströmen bestmöglich zu evaluieren. Eine derartige Zielsetzung wird in dem durch den Task 49/IV initiierten Projekt SolarAutomotive

verfolgt. Derartige integrierte Simulationstools werden auch weiterhin Fragestellung bei Industrie einbindung in regionale Energienetze sein.

Die Energieversorgung der Industrie wird in Zukunft auf hybriden Lösungen basieren und je nach Standort mit den regionalen Strukturen (Stadt, Nachbarbetriebe etc.) eng verbunden sein. Hybride Lösungen zu 100% Versorgung der Industrie mit erneuerbarer Energie erfordern ein innovatives, abgestimmtes Zusammenspiel von Solarer Prozesswärme, Wärmepumpen, Biomasse und Biogas, sowie Fernwärme. Hier besteht Forschungsbedarf für Systemlösungen, die auf Industriesektoren und Standorte zugeschnitten sind.

Der zukünftige Forschungsfokus hinsichtlich Integration von Solarthermie in industrielle Prozesse liegt im Bereich neuer Prozesstechnologien. Einerseits neue Technologien, die die Nutzung von Niedertemperaturwärme ermöglichen (zB MD, OBR), aber auch die Kopplung von Kollektor und Prozesstechnologie und die direkte Nutzung von Solarstrahlung in industriellen Prozessen bei höheren Temperaturen. Durch direkte Nutzung von Solarstrahlung im Prozess können Übertragungsverluste minimiert werden. In einigen Prozessen kann der gezielte Einsatz von UV Strahlung auch qualitativ positive Auswirkungen haben bzw. direkten Einfluss auf chemische Umwandlungen (photo chemistry).

Durch die entstandene SHIP Datenbank sind mehr Anlagen und Daten verfügbar, die die Verlässlichkeit der Technologien beweisen. Es zeigt sich ein Trend zu sehr großen Anlagen, wie etwa im Bergbau. Die Weiterführung der Datenbank wird ein sehr wichtiges Mittel sein, um die Marktentwicklung weiter zu beobachten und auch zu forcieren.

Hinsichtlich der Marktdurchdringung können besonders die wirtschaftlichen Barrieren oft nicht durchbrochen werden. Während einerseits eine Kostenreduktion in der Herstellung nötig ist, sind besonders neue Ansätze nötig um eine Finanzierung von großen Anlagen sinnvoll zu ermöglichen. Zur Überwindung dieser Barriere wurde u.a. das EU Projekt TRUSTEE initiiert, welches Anfang 2016 startet. In TRUSTEE wird ein neuer Finanzierungsfond entwickelt, um EE und RES Projekte in KMUs zu finanzieren, bei welchem das Risiko für Lieferanten und Endkunde durch Garantievereinbarungen und Expertenbeurteilung abgepuffert wird. Der Fonds aus dem Projekt TRUSTEE könnte auch eine Hilfestellung für KMUs sein zusätzlich zur Förderung des Großsolarförderprogramms die Finanzierung des eigenen Investitionsaufwands zu ermöglichen.

Die verfassten Dokumente und Publikationen des Task 49/IV sind von hoher Relevanz für Solarfirmen, Planer, Energieberater, Energieauditoren, Energiemanager in Betrieb, Forschungsinstitute und strategische Entscheidungsträger.

Direkte aus dem IEA Task 49/IV initiierte Projekte sind GREENFOODS, TRUSTEE, SolarAutomotive, und Tes4seT. Es besteht auch international großes Interesse an einem weiterführenden IEA Kooperationsprojekt mit Fokus auf spezielle Lösungen für einzelne Verfahrensschritte bzw. Technologien (Trocknung) sowie auf neue Lösungen zur Marktdurchdringung.

## 9. Verzeichnisse

### Literaturverzeichnis

1. Huidobro, A., et al., *Medium temperature solar collectors Database 2015: project funded under the 7th framework programme (FP7)*.
2. Vukits, M., et al., *Entwicklung von hocheffizienten und kostenoptimierten Mitteltemperaturkollektoren für solarthermische Großanlagen*, in OTTI - 25. Symposium für Thermische Solarenergie. 2015: Bad Staffelstein, Deutschland.
3. Reichl, C., F. Hengstberger, and C. Zauner, *Heat transfer mechanisms in a compound parabolic concentrator: Comparison of computational fluid dynamics simulations to particle image velocimetry and local temperature measurements*. Solar Energy, 2013. **97**: p. 436-446.
4. Larcher, M., et al., *Characterization of a parabolic trough collector for process heat applications*. Energy Procedia, 2014. **57**: p. 2804–2811.
5. Muster-Slawitsch, B., et al., *Integration Guideline*, B. Muster-Slawitsch, Editor. 2015, IEA Task 49/IV.

### Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1: Workflow Prozessintegrationsstudien erweitert für Solare Prozesswärme .....  | 21 |
| Abbildung 2: Einbindung von Solarer Prozesswärme in der Pinch Analyse nach Analyse der Grand Composite Curve.....   | 22 |
| Abbildung 3: Temperaturverteilung in Speichern und Leistungsvariation eines Wärmeaustausches - Ergebnis einer SOCO Simulation (Muster-Slawitsch et al., 2014) ..... | 22 |
| Abbildung 4: Mögliche Integrationspunkte für Solare Prozesswärmeanwendungen .....   | 23 |
| Abbildung 5: Bewertungs-Methodik für Solar-thermische Integration.....  | 25 |
| Abbildung 6: Klassifikation von industriellen Wärmeverbrauchern zur Integration von Solarthermie.....   | 26 |
| Abbildung 7: Integrationskonzept für das Vorheizen von Make-up-Wasser (SL_S_MW) .....   | 26 |
| Abbildung 8: Unterteilung des SHP-Systems exemplarisch für das Integrationskonzept PL_E_PM.....   | 27 |
| Abbildung 9: Die Bewertungsmatrix.....  | 27 |
| Abbildung 10: Zuordnung von solaren Systemkonzepten zu den Integrationskonzepten (Hess und Helmke, 2015) .....  | 28 |
| Abbildung 11: Berechnungswerkzeug für Machbarkeitsstudien (AEE INTEC) .....   | 30 |
| Abbildung 12: Ort und Anzahl der dokumentierten Anlagen (ship-plants.info) .....  | 31 |
| Abbildung 13: Spezifischer Wärmeertrag .....  | 32 |

## 10. Anhang

In den folgenden Tabellen sind alle Publikationen, die zusätzlich zur Erstellung der Task 49/IV Berichte (Deliverables) aus den Aktivitäten des IEA Task 49/IV entstanden sind, dargestellt.

### Bücher

| Autor(en)                                     | Titel  | Literaturverweis (Jahr, Ort, Herausgeber, etc.)  |
|---|--|--|
| Muster-Slawitsch, B., Brunner, C. & Fluch, J. | Application of an advanced Pinch Methodology for the food and drink production, WIREs Energy Environment 3, (2014) | WIREs Energy Environment 3, (2014)   |
| Muster, B. & Brunner, C.                      | Solar process heat and process intensification   | in <i>Process Intensification for Sustainable Energy Conversion</i> , F. Galluci and M. van Sint Annaland, Editors. Wiley: Netherlands, 2015.  |
| Hess, Stefan                                  | Low-Concentrating, Stationary Solar Thermal Collectors for Process Heat Generation                                 | Dissertation, De Montfort University Leicester, 2014   |
| Davd Reay, Colin Ramshaw, Adam Harvey         | Process Intensification - Engineering for Efficiency, Sustainability and Flexibility. 2nd Edition                  | Butterworth-Heinemann, Oxford. ISBN-10: 0080983049 ISBN-13: 978-0080983042   |
| Hess, S                                       | Solar Thermal Technologies for Process Heating   | Hess, S 2015 'Solar Thermal Technologies for Process Heating' in <i>Renewable Heating and Cooling - Markets, Technologies and Applications</i> , ed G Stryi-Hipp, Woodhead, Cambridge, ISBN: 978-1-78242-213-6 (print), ISBN: 978-1-78242-213-6 (online), pp. 41-66. |

### Zeitschriftenartikel, Tagungsberichte, etc.

| Autor(en)                           | Titel   | Publikation / Konferenz (Name des Journals, Newsletter, Konferenz, etc.) | Literaturverweis (Nummer des Journals, Jahr, Ort, Herausgeber, etc.) |
|-------------------------------------|---|--|--|
| Mauthner F., Brunner C., Hubmann M. | 7,845 m <sup>2</sup> solar thermal collectors for the Heineken Brewery          | Gleisdorf Solar  | June 2014  |
| Mauthner F., Brunner C., Hubmann M. | Beschreibung und Analyse der Systemtechnik und des Anlagenbetriebes am Beispiel | Proceedings in 24. Symposium Thermische                                  | May 2014   |

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|   | der solaren Prozesswärmeanlage in der Brauerei Goess   | Solarenergie in Bad Staffelstein, Deutschland   |   |
| Mauthner F., Brunner C., Hubmann M.   | Angepasste solare Prozesswärmekonzepte für Brauereien  | Proceedings in 23. Symposium Thermische Solarenergie in Bad Staffelstein, Deutschland | May 2013  |
| Mauthner F., Brunner C., Hubmann M.   | Manufacture of malt and beer with low temperature solar process heat   | Energy Procedia   | Energy Procedia Volume 48, 2014, Pages 1188–1193                    |
| Brunner C.  | Ergebnisse aus dem IEA Task 49/IV Solar Process Heat for Production and Advanced Application   | 25. Symposium Thermische Solarenergie   | OTTI, Bad Staffelstein, 6.5. – 8.5. 2015                            |
| Brunner C.  | Solar Heat for Industrial Production Processes - Design Guidelines for Solar Process Heat – Tools, Monitoring and Best Practice Examples | SHC 2015 International Conference on Solar Heating, Cooling and Solar Buildings       | IEA Solar Heating and Cooling Programme, Istanbul, Turkey, 02.12.15 |
| T. Barz, C. Zauner, D. Lager, F. Hengstberger:  | Modelling with experimental validation of a latent heat thermal energy storage for industrial high temperature applications              | 10th European Congress of Chemical Engineering  | Nizza; 27.09.2015 - 01.10.2015                                      |
| C. Zauner, F. Hengstberger, W. Hohenauer, C. Reichl, A. Simetzberger, G. Gerald:                    | Methods for Medium Temperature Collector Development Applied to a CPC Collector  | International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry      | San Francisco, USA; 09.07.2012 - 11.07.2012                         |
| C. Zauner, T. Ferhatbegović, M. Hartl, S. Manglberger, T. Themessl, S. Aigenbauer, A. Simetzberger: | Energy Labelling and Advanced Insulation for Thermal Energy Storages in Solar Applications   | ISES Solar World Congress 2013  | Cancun (Mexico); 04.11.2013 - 07.11.2013                            |
| C. Zauner   | Simulation, Entwicklung und Prüfung von Mitteltemperaturkollektoren  | Gleisdorf Solar 2012,   | Gleisdorf; 12.09.2012 - 14.09.2012                                  |
| C. Zauner   | PCM-Speicher für industrielle Anwendungen  | Kompakte thermische Energiespeicher, IEA Tagung                                       | IEA Tagung, Wien; 23.9.2014   |
| Bhoovarahan Thirumalai  | Pay-as-you-save: Solar Energy for Industrial Heating   | UNDP  |   |
| Epp, B.   | ESCO concept for wheel producer  | Global Solar Thermal Energy Council   | 2014, Baerbel Epp   |
| Srikanth, R.  | Going Solar, the economical way  | The Hindu   | 2014, Srikanth, Chennai   |
| Silva, R., Pérez, M., y Fernández-García, A.  | Modeling and co-simulation of a parabolic trough solar plant for industrial process heat   | Applied Energy  | Vol. 106, pp. 287-300, (2013).                                      |
| R. Silva, M. Pérez, M. Berenguel, L.  | Uncertainty and global sensitivity analysis in the   | Applied Energy  | Vol. 121, pp. 233-  |

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| Valenzuela, E. Zarza   | design of parabolic-trough direct steam generation plants for process heat applications   |  | 244, (2014).  |
| Loreto Valenzuela, David Hernández-Lobón, Eduardo Zarza  | Sensitivity analysis of saturated steam production in parabolic trough collectors   | Energy Procedia                          | Vol. 30, pp. 765-774, (2012). SHC 2012.   |
| Manuel Quirante, Loreto Valenzuela   | Dimensioning a small-sized PTC solar field for heating and cooling of a hotel in Almería (Spain)  | Energy Procedia                          | Vol. 30, pp. 967-973, (2012). SHC 2012.   |
| Mario Biencinto, Lourdes González, Loreto Valenzuela, Aránzazu Fernández                             | Design and simulation of a solar field coupled to a cork boiling plant  | Energy Procedia                          | Vol. 48, pp. 1134-1143, (2014). SHC 2013.   |
| David H. Lobón, Loreto Valenzuela  | Impact of pressure losses in small-sized parabolic-trough collectors for direct steam generation  | Energy                                   | Vol. 61, pp. 502-512, (2013).   |
| Cabrera, F. J., Fernández-García, A., Silva, R. M. P., y Pérez-García, M.                            | Use of parabolic trough solar collectors for solar refrigeration and air-conditioning applications  | Renewable and Sustainable Energy Reviews | Vol. 20, pp. 103-118, (2013).   |
| Y. García-Ortiz, L. Valenzuela, J.J. Serrano-Aguilera, J. Yáñez                                      | Diseño de concentrador solar cilindro-parabólico de bajo costo mediante acero inoxidable para aplicaciones de bajo requerimiento energético |  | Oral communication. In XXXVIII Semana Nacional ANES - XI Congreso Iberoamericano, 8-10 October, 2014, Querétaro, México |
| Y. García-Ortiz, L. Valenzuela, J.J. Serrano-Aguilera, J. Yáñez                                      | Sistema híbrido de deshidratado de chile con energía solar fototérmica por medio de concentradores cilindro-parabólicos                     |  | Oral communication. In XXXVIII Semana Nacional ANES - XI Congreso Iberoamericano, 8-10 October, 2014, Querétaro, México |
| Fernández-García, A.; Rojas, E., Pérez, M., Silva, R., Hernández-Escobedo, Q., Manzano-Agugliaro, F. | A parabolic-trough collector for cleaner industrial process heat  |  | Journal of Cleaner Production, 89, 272-285, 2015  |
| García-Ortiz, Y., Yáñez-Mediola, J., Valenzuela, L.  | Colectores cilindro parabólicos a partir de material de bajo coste (acero inoxidable) aplicado a un sistema híbrido de deshidratado         |  | DYNA 91, 0-10, January 2016.  |
| H. Schenk, S. Dieckmann, M. Berger, C. Zahler, O. Stoppok, D. Schulz,                                | SolSteam - Innovative integration concepts for solar-fossil hybrid process steam  | SolarPaces 2014, Beijing                 |   |

|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
| D. Krüger  | generation   |   |   |
| Klaus Hennecke   | Solar Process Heat and Co-Generation a review of recent developments   | SolarPaces 2014, Beijing  | Energy Procedia 2015 Proceedings of SolarPACES 2014 |
| Mario Adam, Sebastian Schramm  | Hydraulische Einbindung von Speichern in solare Prozesswärmesysteme  | OTTI 2012 - 22. Symposium Thermische Solarenergie   | Poster Session, May 2012, Bad Staffelstein, Germany |
| Mario Adam, Sebastian Schramm  | Storage in solar process heat applications   | International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry          | Poster Session, September 2013, Freiburg, Germany   |
| Mario Adam, Sebastian Schramm  | Hydraulische Einbindung von Speichern in solare Prozesswärmesysteme  | OTTI 2012 - 22. Symposium Thermische Solarenergie   | Poster Session, May 2012, Bad Staffelstein, Germany |
| Mario Adam, Sebastian Schramm  | Storage in solar process heat applications   | International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry          | Poster Session, September 2013, Freiburg, Germany   |
| Anette Anthrakidis, Christian Faber, Marco Lanz, Mario Adam, Sebastian Schramm                   | Konzeptionierung, Aufbau und wissenschaftliche Begleitung einer Pilotanlage  | OTTI 2010 - 20. Symposium Thermische Solarenergie   | Poster Session, May 2010, Bad Staffelstein, Germany |
| Mario Adam, Martina Dreher, Sebastian Schramm, Anette Anthrakidis, Christian Faber, Marco Lanz   | Solare-Prozesswärme-Standards  | World Sustainable Energy Days 2011  | Poster Session, March 2011, Wels, Austria           |
| Christian Faber, Anette Anthrakidis, Marco Lanz, Mario Adam, Sebastian Schramm                   | Barriers to Solar Process Heat Applications  | ISES Solar World Congress 2011  | Poster Session, August 2011, Kassel, Germany        |
| Anette Anthrakidis, Christian Faber, Marco Lanz, Mario Adam, Sebastian Schramm, Hans-Peter Wirth | Monitoring und Analyse solarer Prozesswärmeanlagen   | OTTI 2013 - 23. Symposium Thermische Solarenergie   | May 2013, Bad Staffelstein, Germany                 |
| Platzer, W., Heß, S., Helmke, A.   | Climate Relevance in Solar Process Heat System Optimization - Case Studies with Different Temperatures and Load Profiles | SASEC 2014 Proceedings of South African Solar Energy Conference SASEC                     |   |
| Helmke, A., Kumar, D., Heß, S., Stry-Hipp, G.  | Solare Prozesswärme in Indien – Markterschließung und Systemtechnik  | 23. OTTI-Symposium Thermische Solarenergie. Proceedings. 24.-26.04.2013, Bad Staffelstein |   |

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| Fahr, S., Kramer, K.,<br>Mehnert, S., Heß, S.                       | Solar Keymark certification for concentrating collectors - Comparing the quasi-dynamic and the steady-state method of EN 12975-2:2006-A1:2010 | SolarPACES<br>11.-14.09.2012,<br>Marrakesh  |   |
| Heß, S., Oliva, A.,<br>Helmke, A., Stryi-<br>Hipp, G., Platzer, W.  | Ergebnisse des IEE-Projekts SO-PRO: Auslegung von Solaranlagen für vier ausgewählte industrielle Prozesse                                     | 22. OTTI-Symposium<br>Thermische<br>Solarenergie.<br>Proceedings 09.-<br>11.05.2012, Bad<br>Staffelstein                                |   |
| Cuevas F., Murray C.,<br>Platzer W., Heimsath<br>A.                 | Large Scale Solar Plants<br>Integration in Electro-winning<br>Copper Recuperation Process   | SHC 2014,<br>International<br>Conference on Solar<br>Heating and Cooling<br>for Buildings and<br>Industry. 13.-<br>15.09.2014, Beijing  | Energy Procedia                           |
| Heß, S., Hanby, V.  | Collector Simulation Model<br>with Dynamic Incidence Angle<br>Modifier for Anisotropic Diffuse<br>Irradiance                                  | SHC 2013,<br>International<br>Conference on Solar<br>Heating and Cooling<br>for Buildings and<br>Industry. 23.-<br>25.09.2013, Freiburg | Energy Procedia                           |
| Ben Hassine, Ilyes  | Operational Improvements of a<br>Large Scale Solar Thermal<br>Plant Used for Heat Supply in<br>the Ham Production                             | EuroSun and<br>Gleisdorf Solar  | Sept. 2014 / June<br>2014                 |
| Ben Hassine, Ilyes  | Hardware-in-the-loop Test for<br>a Parabolic Trough Collector<br>Plant in the Meat Industry   | SHC 2015,<br>International<br>Conference on Solar<br>Heating and Cooling<br>for Buildings and<br>Industry, 2.-<br>4.12.2015, Istanbul   |   |
| Föste S., Giovannetti<br>F.   | Thermal Insulation for High<br>Efficiency Flat Plate Collectors   | Proceedings Eurosun<br>2012   | Sept. 2012,<br>Rijeka, Croatia            |
| Jack S., Katenbrink<br>N., Parzefall J.,<br>Rockendorf G.           | Heat Transfer Characteristics<br>of Manifolds in Solar Thermal<br>Collectors with Heat Pipes  | Proceedings Eurosun<br>2012   | Sept. 2012,<br>Rijeka, Croatia            |
| Föste S, Giovannetti<br>F, Ehrmann N,<br>Rockendorf G               | Performance and reliability of<br>a high efficiency flat plate<br>collector –final results on<br>prototypes                                   | Energy Procedia   | Vol. 48, 2014, 48-<br>57, Elsevier        |
| Jack S., Parzefall J.,<br>Luttmann T., Janßen<br>P., Giovannetti F. | Flat Plate Aluminum Heat Pipe<br>Collector with Inherently<br>Limited Stagnation<br>Temperature   | Energy Procedia   | Vol. 48, 2014, 105<br>- 113, Elsevier     |
| Föste S., Müller S.,<br>Giovannetti F.,<br>Rockendorf G.            | Temperaturbedingte<br>Verformung von Absorbern in<br>hocheffizienten<br>Flachkollektoren  | OTTI 2013 - 23.<br>Symposium<br>Thermische<br>Solarenergie  | May 2013, Bad<br>Staffelstein,<br>Germany |
| Jack S., Föste S.,<br>Schiebler B.,<br>Giovannetti F.               | Neuartige Sonnenkollektoren<br>mit Wärmerohren zur<br>Begrenzung der  | OTTI 2014 - 24.<br>Symposium<br>Thermische  | May 2014, Bad<br>Staffelstein,<br>Germany |

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
|  | Stagnationstemperatur und Reduzierung der Systemkosten  | Solarenergie  |   |
| Föste S., Jack S., Schiebler B., Giovannetti F., Rockendorf G.   | Heat pipe collectors for cost reduction of solar installations  | Proceedings Eurosun 2014  | Sept. 2014, Aix les Bains, France   |
| Föste S., Schiebler B., Giovannetti F., Rockendorf G.  | Butane Heat Pipes for Stagnation Temperature Reduction of Solar Thermal Collectors                    | Proceedings International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry 2015 | December 2015, Istanbul, IN PRESS   |
| Föste S., Pazidis A., Reineke-Koch R., Giovannetti F., Hafner B., Mercs D., Delord C.                          | Flat Plate Collectors with Thermochromic Absorber Coatings to Reduce Loads During Stagnation          | Proceedings International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry 2015 | December 2015, Istanbul, IN PRESS   |
| Föste S., Pazidis A., Reineke-Koch R., Giovannetti F., Hafner B., Mercs D., Delord C., Leconte A., Papillon P. | Leistungsfähigkeit und Stagnationsverhalten von Kollektoren mit thermochromen Absorberbeschichtungen  | OTTI 2015 - 25. Symposium Thermische Solarenergie   | May 2015, Bad Staffelstein, Germany   |
| Oliver Iglauer, Christian Zahler   | Solar process heat for sustainable automobile manufacturing   | Elsevier, Energy Procedia   | Volume 30, 2012, Pages 775–782, 1st International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, San Francisco |
| Oliver Iglauer, Christian Zahler   | A new solar combined heat and power system for sustainable automobile manufacturing                   | Elsevier, Energy Procedia   | SHC 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry September 23-25, 2013, Freiburg, Germany |
| Bernd Hafner, Olaf Stoppok, Christian Zahler, Michael Berger, Klaus Hennecke, Dirk Krüger                      | Development of an integrated solar-fossil powered steam generation system for industrial applications | Elsevier, Energy Procedia   | SHC 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry September 23-25, 2013, Freiburg, Germany |
| Christian Zahler, Wolfgang Striewe, Michael Berger, Oliver Iglauer, Olaf                                       | Joining forces to open the market for solar heat in industry  |   | SASEC 2014, 2nd Southern African Solar Energy Conference  |

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| Stoppok,<br>Dirk Krüger  |   |   | January 27-29,<br>2014, Port<br>Elizabeth, South<br>Africa  |
| Martin Haagen,<br>Christian Zahler, Elke<br>Zimmermann,<br>Mahmoud M. R. Al-<br>Najami                               | Solar process steam for<br>pharmaceutical industry in<br>Jordan   | Elsevier, Energy<br>Procedia  | SHC 2014,<br>International<br>Conference on<br>Solar Heating and<br>Cooling for<br>Buildings and<br>Industry<br>October 13-15,<br>2014, Beijing,<br>China |
| Martin Haagen,<br>Christian Zahler, Elke<br>Zimmermann   | First Solar Process Steam<br>System in Jordan at RAM<br>Pharma  |   | OTTI -<br>International<br>Conference on<br>Solar Energy<br>Technology in<br>Development<br>Cooperation<br>November 6-7,<br>2014, Frankfurt,<br>Germany   |
| Marwan Mokhtar,<br>Michael Berger,<br>Christian Zahler, Dirk<br>Krüger, Heiko Schenk<br>and Robert Stieglitz         | Direct steam generation for<br>process heat using Fresnel<br>collectors   | International<br>Conference of Young<br>Scientists on<br>Innovative Applied<br>Renewable Energy<br>Researches, May 18<br>– 20, 2015, Amman,<br>Jordan |   |
| M. Berger, M.<br>Mokhtar, C. Zahler,<br>M. M. R. Al-Najami,<br>D. Krüger and K.<br>Hennecke                          | Solar Process Steam for a<br>Pharmaceutical Company in<br>Jordan  | SolarPaces 2015,  | to be published in<br>Energy Procedia<br>proceedings of<br>SolarPACES 2015  |
| Michael Berger, Mirko<br>Meyer-Grünefeldt,<br>Dirk Krüger, Klaus<br>Hennecke, Marwan<br>Mokhtar, Christian<br>Zahler | First Year of Operational<br>Experience with a Solar<br>Process Steam System for a<br>Pharmaceutical Company in<br>Jordan | SHC 2015  | to be published in<br>Energy Procedia<br>of SHC 2015  |
| Marwan Mokhtar,<br>Michael Berger,<br>Christian Zahler, Dirk<br>Krüger, Heiko<br>Schenk, Robert<br>Stieglitz         | Direct Steam Generation for<br>Process Heat using Fresnel<br>Collectors   | Int. J. of Thermal &<br>Environmental<br>Engineering  | Volume 10, No. 1<br>(2015) 3-9  |
| Stephan Fischer,<br>Patrick Frey   | Comparison of different<br>collector technologies for<br>temperatures above 150 °C  | Proceedings of the<br>"Internationale<br>Konferenz für<br>thermische<br>Solarnutzung<br>Gleisdorf 2012"   |   |
| Stefan Minder  | Experiences with three<br>concentrated solar thermal<br>plants in the Swiss dairy   | Gleisdorf Solar   | June 2014   |

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
|   | industry  |   |  |
| David Reay  | Heat-powered cycles: are the process industries 'missing the boat'?   |   | Int. J. Low Carbon Technology 2013; doi: 10.1093/ijlct/ctt017        |
| David Reay, Adam Harvey   | The role of heat pipes in intensified unit operations   |   | Applied Thermal Engineering, Vol. 57, Issues 1-2, pp. 147-153, 2013. |
| Richard Law, Adam Harvey, David Reay  | Opportunities for low-grade heat recovery in the UK food processing industry  |   | Applied Thermal Engineering, Vol. 53, Issue 2, pp. 188-96, 2013.     |
| Robert MacGregor, Peter Kew, David Reay   | Investigation of low Global Warming Potential working fluids for a closed two-phase thermosyphon                      |   | Applied Thermal Engineering, Vol. 51, Issues 1-2, pp. 917-925, 2013. |
| Krummenacher P. Muster-Slawitsch B.   | Methodologies and software tools for integrating solar heat into industrial processes                                 | Paper E10049 presented at the 13th International Conference on Sustainable Energy Technologies (SET2014), 25-28th August, 2014, Geneva<br>Paper selected for publication in a special issue of the Journal of Applied Thermal Engineering |  |
| A. Frein, M. Calderoni, M. Motta  | Solar thermal plant integration into an industrial process  | SHC Freiburg 2013, later on on elsevier   |  |
| A. Fein, L. Pistocchini, V. Tatay, M. Motta   | Modeling and sizing of a MW solar DSG plant   | SHC 2015, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, 2.-4.12.2015, Istanbul  |  |
| Marco Calderoni, Marcello Aprile, Salvatore Moretta, Aristotelis Aidonis, Mario Motta | Solar Thermal Plants for Industrial Process Heat in Tunisia: Economic Feasibility Analysis and Ideas for a New Policy | Energy Procedia   |  |
| Walmsley, MRW, Walmsley, TG, Atkins, MJ, Neale, JR                                    | Options for Solar Thermal and Heat Recovery Loop Hybrid System Design   | Chemical Engineering Transactions   | Vol 39, p361-366, (2014)   |
| Anna Durst  | Fassadenkollektoren mit Durchblick  | BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe GmbH<br>Leibnitz Institut für Informationsinfrastruktur  | Projektinfo 07/2013  |
| Rolf Meißner  | Sinn und Unsinn von Solarspeichern  | Heizungsjournal   | HZJ 09/2012  |

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| Rolf Meissner  | CPC evacuated tube collector systems for process heat up to 160 °C  | ASES conference Baltimore 04/2013 paper                                   |   |
| Rolf Meißner   | Solar Thermal System to support the district heating network in Wels  | Website Ritter XL Solar   |   |
| Rolf Meißner   | Solarthermische Unterstützung von Fernwärme   | Sanitär- und Heizungstechnik  | SHT 11/2013   |
| Rittmann-Frank M.H., Caflich M., Rommel M.   | Evaluation Solarer Prozesswärmesysteme in der Schweiz   | Tagungsband 26. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein 2016  | coming soon   |
| Sallaberry F., Pujol R., Larcher M., Rittmann-Frank M.H.   | Direct tracking error characterization on a single-axis solar tracker   | Energy Conversion and Management  | Energy Conversion and Management 11/2015; 105:1281 - 1290.<br>DOI: 10.1016/j.enconman.2015.08.081 |
| J. Möllenkamp, H. Marty, M. Rommel, E. Frank, M.H. Rittmann-Frank, S. Minder   | Untersuchung und Evaluierung eines Parabolrinnenkollektorfeldes für Prozesswärme in einer Schweizer Molkerei              | Tagungsband 25. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2015 |   |
| Rommel M. and Larcher M.   | Experimental Investigation on the Accuracy of Alternative Devices to Measure DNI in Comparison to Tracking Pyrheliometers | SolarPACES2015 Conference, 13-16 Oct 2015, Cape Town, South Africa        | SolarPACES2015 Conference   |
| Larcher, M.; Rommel, M.; Frank, E.; Bohren, A.   | CHARACTERIZATION MEASUREMENTS ON A PARABOLIC TROUGH COLLECTOR FOR PROCESS HEAT APPLICATIONS                               | Proceedings ISES Solar World Congress 2013; EnergyProcedia                |   |
| Rommel M. and Larcher M.   | Experimental Investigation on the Accuracy of Alternative Devices to Measure DNI in Comparison to Tracking Pyrheliometers | SolarPACES2015 Conference, 13-16 Oct 2015, Cape Town, South Africa        | SolarPACES2015 Conference   |
| Frank, E.; Marty, H.; Hangartner, L.; Minder, S.   | Evaluation of Measurements on Parabolic Trough Collector Fields for Process Heat Integration in Swiss Dairies             | Proceedings ISES Solar World Congress 2013; EnergyProcedia                |   |
| Jordan, U., Vajen, K., Bales, C., Cortés Fortezac, P.J., Drück, H., Frank, E., Furbo, S., Heinzen, R., Lukea, A., Martinez Moll, V., Pietschnig, R., Streicher, W., Wagner, W., Witzig, A. | SolNet - PhD-scholarships and courses on Solar Heating  | Proceedings ISES Solar World Congress 2013; EnergyProcedia                |   |
| Frank, E., Feuerstein,   | Parabolrinnenkollektoren für  | Tagungsband 23.   |   |

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| M., Minder, S.  | Prozesswärme in Schweizer Molkereien   | Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2013  |   |
| Rommel, M., Larcher, M., Frank, E., Bohren, A., Keller, M., Riedesser, F.:  | Experimental Investigations on the Optical and Thermal Characterization of a Parabolic Trough Collector.   | Proceedings EuroSun Conference, Rijeka, 2012.  |   |
| Hess, S   | Stationary Booster Reflectors for Solar Thermal Process Heat Generation  | Hess, S 2015, 'Stationary Booster Reflectors for Solar Thermal Process Heat Generation'. Paper presented at 3 <sup>rd</sup> South African Solar Energy Conference, 11 to 13 May, Skukuza. UPSpace Institutional Repository – Dept. of Library Services, pp. 153-158. |   |
| Iparaguirrea, I., Huidobro, A., Fernández-García, A., Valenzuela, L., Horta, P., Sallaberry, F., Osório, T., Sanz, A. | Solar thermal collectors for medium temperature applications: a comprehensive review and updated database  | SHC 2015, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, 2.-4.12.2015, Istanbul   |   |
| Pedro Horta, Tiago Osório   | "Optical characterization parameters for line-focusing solar concentrators: measurement procedures and extended simulation results"  | Proceedings of the SOLARPACES 2013, September 2013, Las Vegas, USA   | Energy Procedia   |
| João Marchã, Tiago Osório, Manuel Collares Pereira, Pedro Horta   | "Development and test results of a calorimetric technique for solar thermal testing loops, enabling mass flow and Cp measurements independent from fluid properties of the HTF used" | Proceedings of the SOLARPACES 2013, September 2013, Las Vegas, USA   | Energy Procedia   |
| M Walmsley, T walmsley, M Atkins  | Integration of Solar Heating into Heat Recovery Loops using Constant and Variable Temperature storage  | Chemical Engineering Transactions, pp1183, vol 35, 2013  | DOI: 10.3303/CET1335 195 Copyright © 2013, AIDIC Servizi S.r.l., ISBN 978-88-95608-26-6; ISSN 1974-9791 |
| A. Frein, M. Calderoni, M. Motta  | Solar thermal plant integration into an industrial process   | SHC Freiburg 2013, later on on elsevier  |   |
| Muster-Slawitsch, B., Brunner, C. & Fluch, J.   | Application of an advanced Pinch Methodology for the food and drink production,  | WIRES Energy Environment 3, (2014)   |   |
| Reichl C.,  | "Heat transfer mechanisms in   | Solar Energy   | Vol 97, 2013,   |

|   |   |  |               |
|---|---|--|---------------|
| Hengstberger F.,<br>Zauner C.           | a compound parabolic<br>concentrator: Comparison of<br>computational fluid dynamics<br>simulations to particle image<br>velocimetry and local<br>temperature measurements |  | Pages 436-446 |
| Heß, Stefan                             | Solare Prozesswärme<br>für Wäschereien  | Magazine<br>"Erneuerbare<br>Energie"<br>of AEE, Issue 2/2014 |               |
| Föste S., Giovannetti<br>F., Ehrmann N. | Hocheffizienter Flachkollektor<br>mit Low-e beschichteter<br>Doppelverglasung   | Erneuerbare Energie  | 4/2012, AEE   |
| Rolf Meißner                            | CPC-Vakuurröhren-<br>Kollektoranlagen für<br>Prozesswärme bis 160 °C  | Sanitär- und<br>Heizungstechnik                              | SHT 08/2013   |
| Kurt Leeb, Rolf<br>Meißner              | Solaranlage zur Unterstützung<br>der Fernwärme in Wels  | Erneuerbare<br>Energien                                      | ee 02/2012    |
| Rolf Meißner                            | Wie groß dürfen Solarspeicher<br>sein? (SWW-Streitgespräch)   | Sonne, Wind und<br>Wärme                                     | SWW 04/2013   |
| Rolf Meißner                            | CPC-Vakuurröhren-<br>Kollektoranlagen für<br>Prozesswärme bis 160 °C  | Erneuerbare<br>Energien Austria                              | EEA 4/2012    |