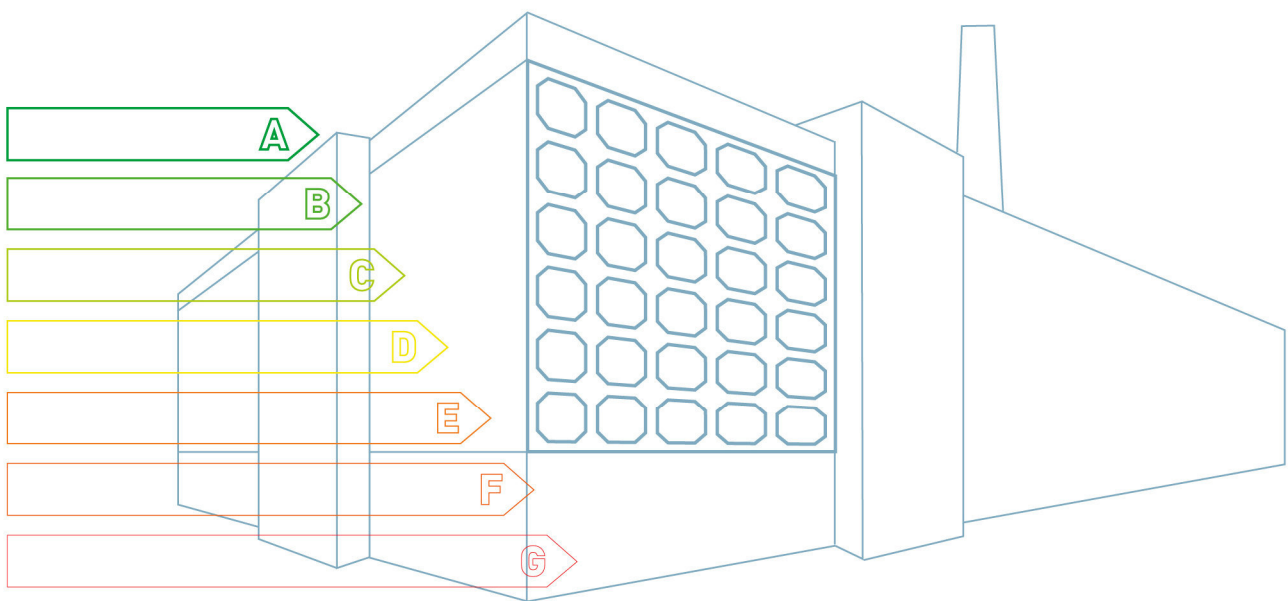




## Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes durch Energieeffizienz und thermischer Solarenergie für Industriebetriebe

Werkzeuge, Methoden und Umsetzung



## VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage [www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at) zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Energie der Zukunft“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!



Theresia Vogel  
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds



Ingmar Höbarth  
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	6
2	Inhaltliche Darstellung, Ergebnisse und Schlussfolgerungen .....	11
3	Ausblick und Empfehlungen .....	26
4	Literaturverzeichnis .....	28
5	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....	29

## Kurzfassung

PROMISE APPLICATION setzte sich zum Ziel, die Solarthermie in Produktionsunternehmen der Oberflächenbehandlung für Metalle und Kunststoffe energetisch und wirtschaftlich sinnvoll mit Maßnahmen zur Energieeffizienz und dem Einsatz weiterer erneuerbarer Energieträger zu verbinden.

Dies erfolgte durch die Bündelung der erarbeiteten Grundlagen und Erfahrungen über solare Prozesswärme aus verschiedenen „Fabrik der Zukunft“ und „Energiesysteme der Zukunft“ Projekten (siehe [www.nachhaltigwirtschaften.at](http://www.nachhaltigwirtschaften.at)), wie auch durch die Neu- und Weiterentwicklung wichtiger Planungswerkzeuge. Im Rahmen des Projektes wurden drei Industriefallstudien durchgeführt, mit der Zielvorgabe, die klimarelevanten fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen um mindestens 20 % mittels Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz sowie der systemischen Einbindung von Solarwärme zu senken. Mit den entwickelten Konzepten, Werkzeugen und Methoden ist es zukünftig möglich, nachhaltige Energiekonzepte für Industriebetriebe rasch und unter Berücksichtigung der Möglichkeiten die durch die Solarthermie geboten werden zu entwickeln und umzusetzen.

### Angestrebte Ziele:

- Weiterentwicklung und Anwendung von Softwaretools zur Wärmeintegration in Produktionsbetrieben mit Fokus auf Niedertemperaturprozesse < 250°C.
- Adaptierung eines Solarkalkulationsprogramms auf die speziellen Anforderungen für den Einsatz in Produktionsbetrieben.
- Identifizierung der theoretisch idealen Einbindung solarer Prozesswärme durch exergetische Bewertung der thermischen Energieströme im Unternehmen.
- EDV-gestützte Darstellung der wichtigsten thermischen Grundoperationen in den Sektoren Oberflächenbehandlung (Beizen, Galvanisieren, etc.), Lackieren und Kunststoffverarbeitung einschließlich der Diskussion der Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz, der Veränderungen der Betriebsparameter in Hinblick auf eine bessere Integration von erneuerbarer Energie (Solarthermie) und des Einsatzes innovativer, energiesparender Technologien.
- Systematische, EDV-gestützte Darstellung des typischen Energieverbrauches und der Möglichkeiten zur Energieeinsparung bei Niedertemperaturprozessen in Betrieben der Oberflächenbehandlung für Metalle und Kunststoffe.
- Durchführung von drei detaillierten Fallstudien (Erarbeitung detaillierter Umsetzungskonzepte: Planung der Solarintegration, der alternativen Energiebereitstellung und der Implementierung eines Wärmetauschernetzwerks durch die Anwendung der Pinch-Analyse) für Betriebe der Oberflächenbehandlung für Metalle und Kunststoffe und signifikante Senkung des CO<sub>2</sub> Ausstoßes (mindestens 20%).
- Dokumentation und kritische Beurteilung bestehender Solaranlagen im Bezug auf das Stillstandsverhalten.
- Entwicklung einer Lösung zur Beherrschung des Stillstandsverhaltens bei Großsolaranlagen sowie die Umsetzung der Ergebnisse in Form eines Prototyps inklusive Erprobung und messtechnische Erfassung sowie Analyse der Funktionalität.
- Systematische, EDV-gestützte Darstellung für die Vorgangsweise zur Akquisitionen im Industriebereich (solares Businessmodell, Förderungen, Energiecontracting, Wirtschaftlichkeitsberechnungen, etc.).

### Ergebnisse:

- Weiterentwicklung der Pinch-Software „PE<sup>2</sup>“ um die Simulation von kapazitiven Effekten, wie sie aufgrund zeitlicher Verschiebungen der Energieversorgung von Prozessen auftreten (Batch-Prozesse, Berechnung und Dimensionierung von Wärmespeichern im System).
- Erweiterung der Pinch- Software „PE<sup>2</sup>“ um ein Modul „Wirtschaftlichkeitsberechnung“, basierend auf dem „Total Cost Assessment“ Ansatz.
- Einbindung der „Matrix zur Energieeffizienz und Solaren Prozesswärme“ in eine öffentlich zugängliche und adaptierbare wikiweb Benutzeroberfläche (siehe <http://energy-in-industry.joanneum.at>).
- Erweiterung der „Matrix zur Energieeffizienz und Solaren Prozesswärme“ um den Bereich Oberflächenbehandlung in der Metall- und Kunststoffindustrie.
- Erstellung eines Solarkalkulationsprogramms für die Berechnung von thermischer Solarintegration in Produktionsprozessen und Abschätzung von Ertragsprognosen.
- Konzeption,, theoretische Berechnung und Dimensionierung eines Stagnationskühlers zur Beherrschung des Stillstandsverhaltens von Großsolaranlagen, der wartungsarm und ohne Hilfsenergie selbsttätig arbeitet.
- Bau eines Prototyps eines Stagnationskühlers und erfolgreiche Erprobung sowie messtechnische Validierung der Funktionalität an einer solaren Großanlage (500 m<sup>2</sup>, Grottenhofstraße, Graz)
- Ausarbeitung eines Contracting-Leitfadens für Industriebetriebe und eines Standardvertrags für Contracting von industriellen Großsolaranlagen. Dies ist eine attraktive Basis für Unternehmen, die Solarenergie verkaufen wollen.
- Durchführung von drei Fallstudien für Unternehmen der Branche „Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen“: Entwicklung eines umsetzungsorientierten Konzepts (technologisch und wirtschaftlich) zur Energieeinsparung durch Wärmeintegration, den Einsatz energieeffizienter Technologien und der Integration solarer Prozesswärme.
- Einleitung weiterer Schritte zur Umsetzung des vorgestellten Konzeptes in mindestens einem der analysierten Unternehmen.

## Summary

PROMISE APPLICATION aims to sensibly combine the use of solar thermal energy in production companies that work in the field of metal and plastic surface treatment in an energetic and economic way with measures to enhance energy efficiency and the use of other renewable energy sources.

This shall be reached by bringing together the results and experiences of the project partners in the so far conducted “Factory of Tomorrow” and “Energy Systems of Tomorrow” projects (Link: [www.nachhaltigwirtschaften.at](http://www.nachhaltigwirtschaften.at)), as well as via new and ongoing developments of important planning tools. The result of 3 conducted industry case studies should reach a minimum reduction of 20% of the CO<sub>2</sub> emissions by energy efficiency measures and the implementation of solar thermal generated heat. With the developed concepts, methods and tools, in future companies shall be enabled to quickly develop and realise sustainable energy concepts in due considerations of the possibilities offered by solar thermal applications.

The following aims were set:

- Further development and application of software tool dealing with industrial heat integration for low temperature processes of below 250°C.
- Adapting a solar simulation programme especially meeting the challenges for the use in production companies.
- Identification of the theoretical ideal integration of solar process heat by an exergetic analysis of energy streams.
- EDP supported demonstration of the most important thermal unit operations in the sectors surface treatment (pickling, galvanising, etc.), varnishing and plastic processing including the discussion of the possibilities for measures to increase energy efficiency, the change of process parameters regarding the better integration of renewable energy sources (solar thermal heat) and the use of innovative, energy saving technologies.
- Systematic EDP supported demonstration of the typical energy demand and the possibilities for energy savings at low temperature processes in companies dealing with surface treatment of metals and plastics.
- Conducting three detailed case studies (Elaborating a detailed realisation concept: planning the solar integration, the alternative energy supply and the implementation of a heat exchanger network) for companies in the sector surface treatment of metals and plastics and reaching a significant reduction of the CO<sub>2</sub> emissions (at least 20%).
- Documentation and critical assessment of existing solar plants regarding the stagnation behaviours.
- Development of a solution dealing with the stagnation behaviour of large solar thermal systems including design and prototyping of a stagnation cooler unit.
- Systematic, EDP supported demonstration of the approach for acquisition in the industrial sectors (solar business model, funding schemes, energy contracting, economic calculations, etc.).

## Results:

- Further development of the Pinch-Software PE<sup>2</sup> algorithm regarding the calculation of thermal capacities such as essential for the simulation of batch-processes or storages adapted to the system.
- Extension of the Pinch-Software PE<sup>2</sup> algorithm of a module “Economics” for calculations based on the Total Cost Assessment approach.
- Embedding the „Matrix for energy efficiency and solar process heat for industry“ into a public and adaptable wikiweb user interface (Link: <http://energy-in-industriy.joanneum.at>).

- Extension of the „Matrix for energy efficiency and solar process heat for industry“ for the area of surface treatment of metals and plastics and for the further use of renewable energy sources
- Design of a solar calculation programme for the calculation of integration of solar thermal heat in production processes.
- Development, theoretical calculation and design of an automated and low-maintenance stagnation cooler for large solar thermal applications in industry.
- Successful testing and monitoring of a prototype attached to a large solar thermal system (500 m<sup>2</sup>, Grottenhofstraße, Graz).
- Elaboration of a contracting manual for industrial companies and a standard contract for contracting of large-scale solar plants in industry.
- Development of detailed technical and economical concepts – already oriented towards realisation – in three case studies that show the energy savings through heat integration, use of energy efficient technologies and solar process heat.
- Further steps towards realization together with at least one company analysed.

# 1 Einleitung

PROMISE APPLICATION setzte sich zum Ziel, die Solarthermie in Produktionsunternehmen der Oberflächenbehandlung für Metalle und Kunststoffe energetisch und wirtschaftlich sinnvoll mit Maßnahmen zur Energieeffizienz und dem Einsatz weiterer erneuerbarer Energieträger zu verbinden. Dies erfolgte durch die Bündelung der erarbeiteten Grundlagen und Erfahrungen über solare Prozesswärme aus verschiedenen „Fabrik der Zukunft“ und „Energiesysteme der Zukunft“ Projekten (siehe [www.nachhaltigwirtschaften.at](http://www.nachhaltigwirtschaften.at)) wie auch durch die Neu- und Weiterentwicklung wichtiger Planungswerkzeuge. Im Rahmen des Projektes wurden drei Industriefallstudien durchgeführt, mit der Zielvorgabe, die klimarelevanten fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen um mindestens 20 % mittels Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz sowie der systemischen Einbindung von Solarwärme zu senken. Mit den entwickelten Konzepten, Werkzeugen und Methoden soll es zukünftig möglich sein, nachhaltige Energiekonzepte für Industriebetriebe rasch und unter Berücksichtigung der Möglichkeiten, die durch die Solarthermie geboten werden, zu entwickeln und umzusetzen.

Das Projekt umfasst die folgenden Arbeitspakete:

## AP 1: Wärmeintegration

Der Schwerpunkt dieses Arbeitspaketes lag vor allem in der Weiterentwicklung des Softwarepaketes PE<sup>2</sup> [„pi-square“]. Diese, im Rahmen der IEA Task 33/IV – Solar Heat for Industrial Processes entwickelte Software für die Optimierung von Industrieprozessen durch Wärmeintegration, wurde um die Erfahrungen aus den durchgeführten Fallstudien erweitert und hinsichtlich der Bedienbarkeit verbessert.

Eine wesentliche Erkenntnis des IEA Task 33/IV lag darin, dass eine Prozessoptimierung, beispielsweise die gezielte Integration bzw. Rückgewinnung von Abwärme mittels Wärmetauschernetzwerken, der Einbindung von thermischen Solaranlagen vorausgehen muss<sup>1</sup>. Die Software in ihrer ursprünglichen Version war jedoch nicht für die Berechnung von zeitlich variierenden Abläufen konzipiert, was beispielsweise eine Simulation der Wechselwirkungen zwischen mehreren Prozessen mit unterschiedlichen Betriebszeiten oder Lastanforderungen ausschloss. In weiterer Folge konnten somit auch zeitliche Verschiebungen zwischen dem wechselnden solaren Energieangebot und dem Energiebedarf nicht zufriedenstellend abgebildet werden.

Innerhalb des AP 1 lag somit der Fokus in der Integration der zeitlichen Dimension in den bestehenden Rechenalgorithmus sowie die Berechnung von Wärmespeichern, die gegebenenfalls in der Lage sind, solche zeitlichen Verschiebungen zu kompensieren. Darüber hinaus wurde die Software um ein Modul „Wirtschaftlichkeitsberechnung“ erweitert, das Kalkulationen basierend auf dem „Total Cost Assessment“ Ansatz ermöglicht.

---

<sup>1</sup> Eine Übersicht der Tätigkeiten und der im Rahmen des IEA Task 33 gewonnenen Erkenntnisse können auf der Homepage der Internationalen Energieagentur (IEA) unter folgendem Link abgerufen werden: <http://www.iea-shc.org/task33/>.



Zusammenfassend können als Ergebnis von AP1 neben der allgemeinen Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit der Software folgende Erweiterungen hervorgehoben werden:

- Die Ermittlung von latenten und sensiblen Wärmeströmen ermöglicht eine effizientere Auslegung von Wärmetauschern und Speichermedien für große Solaranlagen, was zu wesentlich Einsparungen beiträgt
- Ermittlung von kontinuierlichen und diskontinuierlichen (Batch-Prozesse) Energie- und Massenströmen ist möglich
- Erweiterung der grafischen Ausgabe um Jahresdauerlinien (darunter versteht man die nach Größe geordnete Darstellung der Leistung über ein Jahr) für die im System verbleibenden Energieströme
- Darstellung der Energieströme im Sankey Diagramm möglich (visualisierte graphische Darstellung von allen Strömen in Form eines Flussdiagramms, das Ineffizienzen deutlich macht)
- Dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung unter Berücksichtigung umwelt- und gesundheitsrelevanter Vermeidungskosten (Total Cost Assessment) integriert
- Speicherberechnung für diskontinuierliche Prozesse möglich

### AP 2: Matrix zur Energieeffizienz und Solaren Prozesswärme für die Industrie

Die Matrix zur „Energieeffizienz und Solaren Prozesswärme für die Industrie“ ist ein Werkzeug, das Solarexperten bei der Konzeption von solaren Anlagen in der Industrie Unterstützung bietet.

Das Werkzeug bietet dem Benutzer einen Überblick über Niedertemperaturprozesse (max. 250 °C) mit den derzeit verfügbaren Technologien zur thermischen Nutzung von Solarenergie. Zusätzlich werden schematisch Möglichkeiten der hydraulischen Einbindung von thermischen Solaranlagen für ausgewählte Prozesse aufgezeigt.

Die Matrix wurde im Rahmen des IEA Task 33/IV – Solar Heat for Industrial Processes – entwickelt und auf die Industriesektoren Lebensmittel, Textil und Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen angewendet. Die Funktion des auf MS Excel basierenden Tools besteht im Wesentlichen darin, dass eine Vielzahl der wichtigsten verfahrenstechnischen Grundoperationen („Unit Operations“, z.B.: Trocknen, Pasteurisieren, Eindampfen, ...) die Abszisse der Matrix bilden und den jeweiligen industriellen Sektoren auf der Ordinate der Matrix zugewiesen werden. Für jede der einzelnen „Unit Operations“ sind eine Reihe von spezifischen Informationen verfügbar (z.B.: Fließschematas, Temperaturniveaus der Prozesse, Benchmark-Daten, ...) und es können Vorschläge zur Einbindung thermischer Solaranlagen per Mausklick abgerufen werden.

Im Zuge des Projektes PROMISE APPLICATION wurde diese Excel Datenbank - auf Grund der Größe der Datenmenge und zur einfacheren Verbreitung bzw. Öffentlichmachung - in das System einer Wikipedia Homepage („wikiweb“) integriert. Die Datenbank ist im Internet unter der Adresse <http://energy-in-industry.joanneum.at> zu erreichen. Dadurch wird die kontinuierliche Erweiterung der Matrix vereinfacht und eine schnelle Verbreitung der Ergebnisse durch den Zugang verschiedenster Nutzer über das Internet gewährleistet. Die Datenbank ist frei zugänglich und es besteht außerdem die Möglichkeit der Bearbeitung und/oder Erweiterung der Datenbank für externe Nutzer mittels Login (Benutzername und Passwort), die online vom Betreiber der Datenbank (Joanneum Research) angefordert werden können. Damit ist gewährleistet, dass Änderungen vom Betreiber nachverfolgt und gegebenen falls. editiert werden können. Damit ist die Software auch für Stakeholder wie Bauträger, Gemeinden, Architekten oder auch Förderstellen frei zugänglich.

Darüber hinaus wurde die Datenbank im Sektor der Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen auf Basis der in diesem Projekt durchgeführten Fallstudien um zusätzliche Informationen erweitert.

### AP 3: Integration von solaren Prozesswärmeanwendungen

Dieses Arbeitspaket behandelt die Integration von thermischen Solaranlagen in industrielle Prozesse und gliedert sich thematisch in zwei Teile, die jeweils für den großflächigen Einsatz solarer Prozesswärmeanwendungen essentiell sind:

Zum einen erfordert der Einsatz jeglicher Energieversorgungstechnologie in der Industrie einen möglichst reibungsfreien Betrieb um teure Produktionsstillstände zu vermeiden und zum anderen müssen „alternative“ Investitionen, wie sie die Anschaffung einer thermischen Solaranlage darstellt, möglichst den wirtschaftlichen Anforderungen genügen. Grundlegende Fragestellungen hierzu, die im Rahmen von AP 3 behandelt wurden, betreffen die Beherrschung des Stillstandsverhaltens (Stagnation) großer thermischer Solaranlagen für industrielle Anwendungen (Teil 1) sowie die Bewertung der Wirtschaftlichkeit mittels einer Ertrags-Erst-Abschätzung (Teil 2).

#### Teil 1: Stagnationskühler

Bei thermischen Solaranlagen kann bei Ausfall der Wärmeabnahme durch z. B. technische Gebrechen im Solarkreis Dampf gebildet werden. Bei Großanlagen kann dies zu einer kurzfristigen Dampfleistung von bis zu 130 kW je 1.000 m<sup>2</sup> Kollektorfläche führen, die zu beherrschen ist. Die Häufigkeit von Stagnationsvorgängen ist bei der Überzahl der bisher realisierten solaren Großanlagen aus Gründen der Betriebsführung und Dimensionierung eher gering. Deshalb werden beim Auftreten von Stagnation Verluste an verdampftem Wärmeträgermedium und Wartungsarbeiten in Kauf genommen. Bei Großanlagen für industrielle Anwendungen kann jedoch häufiger Stagnation auftreten (z. B. Wochenendstillstände, Betriebsferien oder Prozessabhängigkeiten). Es dürfen dann keine Wärmeträgerverluste auftreten und eine wartungsfreie automatische Wiederbefüllung und Wiederinbetriebnahme der Anlage muss gewährleistet sein. Für kleinere Solaranlagen (bis etwa 50 m<sup>2</sup>) wurde bereits in früheren Projekten [1] ein in der Praxis vielfach erprobter und bewährter, ohne Hilfsenergie arbeitender Stagnations-Luftkühler entwickelt. Dieses Konzept, jedoch mit effektiverer Kühlwirkung (Siedekühlung), wurde im Rahmen dieses Projektes für Großanlagen weiterentwickelt.

Dazu wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Bestandsaufnahme zu Strategien der Stagnationsbewältigung bestehender Großanlagen. Es wurden zahlreiche Versuche an einer 500 m<sup>2</sup> großen Solarthermieanlage durchgeführt. Der Versuchsaufbau erwies sich teilweise als schwierig, da es bei dem Bestreben die Anlage in Stagnation zu versetzen zu Dampfstoßen kam, was die Anrainer sehr beunruhigte. Es waren aufwändige Versuchsvorbereitungen und Sicherheitsvorkehrungen notwendig, um die Anlage schadfrei zu halten und die Anrainer nicht zu beunruhigen.
- Entwicklung eines ohne Hilfsenergie auskommenden Kühlers zur vollständigen Kondensation des Wärmeträgerdampfes in Zusammenarbeit mit automatischen Druckhalte- und Wiederbefülleinrichtungen zum Verhindern von materialverbrauchenden Stagnationen und Wiederbefüllungen durch technisches Personal.
- Erarbeitung von Dimensionierungsrichtlinien für Stagnationskühler.
- Bau eines Prototyps eines Stagnationskühlers und Erprobung und Vermessung an einer bestehenden großen Solaranlage.

Es kann festgehalten werden, dass die Funktionsfähigkeit des Stagnationskühlers entsprechend der Aufgabenstellung voll nachgewiesen werden konnte. Ausgehend vom getesteten Prototyp erscheint eine Hochskalierung bis zur etwa 10-fachen Leistungsfähigkeit und auch mehr durchaus machbar. Das würde dann Anlagengrößen entsprechen, wie sie derzeit in einer Systemeinheit maximal realisiert werden.

## Teil 2: Solar Kalkulationstool

Existierende Prognose-Tools für solarthermische Energieerträge werden meist von Spezialisten zeitaufwändig für den eigenen Gebrauch angewandt. Im Tagesgeschäft einer Solarfirma muss jedoch sehr rasch reagiert werden können, um erste realistische und wirtschaftlich untermauerbare Erst-Abschätzungen bezüglich der solaren Großanlage machen zu können.

Das im Projekt PROMISE APPLICATION entwickelte Solarkalkulations-Tool ist ein großer Schritt, schnelle und auch einfache Bewertungen der Wirtschaftlichkeit von Großsolaranlagen erstellen zu können.

In diesem Projekt wurden Machbarkeitsprognosen zur Energieeinsparung mittels Solarenergie für große Firmen mit hohem Bedarf an Prozesswärme erstellt. Rasche Ertrags- und Wirtschaftlichkeitsabschätzungen mittels den im Projekt entwickelten Prognose-Tools stellen einen Konkurrenzvorsprung für die Solarfirma dar.

Durch die Verknüpfung von Sonnenenergie-Strahlungsdaten mit bereits gemessenen Referenzdaten von bestehenden Anlagen war es möglich, den zu erwartenden Solarertrag zu berechnen. Über Remote-Monitoring von Strahlungsdaten bekommt das Tool automatisch im Datennetz (Internet) vorhandene Strahlungsmessergebnisse der jeweiligen Örtlichkeit und integriert diese in die simulierte Großanlage.

Die entwickelte Form der Ertrags-Erst-Abschätzung war bisher nur sehr eingeschränkt möglich. Daher ist das in diesem Projekt entwickelte Prognose-Tool ein erster Schritt eine brauchbare und einfache Bewertung über die Wirtschaftlichkeit von Großsolaranlagen zu erstellen. Die Kombination mit Prozesswärme ist ein weiterer gelungener innovativer Schritt und wird Planern und Technikern ein hilfreiches Tool sein. Besonders in Industrieprozessen werden große Mengen an Energie benötigt. Mit dem Prognose-Tool kann einfach gezeigt werden, welche Energiemengen solarthermisch zu erwarten sind.

## AP 4: Solares Businessmodell

Es wurde ein Businessmodell zur Einbindung der Prozesswärme erstellt, in welchem die Kosten für eine solarthermische Großanlage mit guter Genauigkeit abgeschätzt werden können und auf die verschiedenen individuellen Kundenwünsche eingegangen werden kann.

Dazu wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Erstellung eines flexiblen Tools auf Contracting-Basis (dabei wird Energie verkauft, nicht die Anlage) für Industriebetriebe, welches auf die jeweiligen Wünsche der Industriebetriebe abgestimmt ist
- Systematische, EDV-gestützte Darstellung für die Vorgangsweise zu Akquisitionen im Industriebereich (solares Businessmodell, Förderungen, Energiecontracting, Wirtschaftlichkeitsberechnungen, etc.)
- Erstellung einer Methode für Contracting Angebote für Industriekunden
- Erweiterung der bisherigen Contractingmodelle um die Prozessoptimierung
- Erstellung von Vertragsrichtlinien

Die Ergebnisse dienen der Betreiberfirma und den Industriebetrieben als Entscheidungsgrundlage für die Umsetzung von energieeffizienten solarthermischen Maßnahmen. Die Systembetrachtung - Solar und Prozesswärme - in einem Wirtschaftlichkeitstool ist ein völlig neuer, innovativer Ansatz, der bisher noch nicht realisiert wurde.

## AP 5: Fallbeispiele in drei Firmen im Bereich der Oberflächenbehandlung

Energiekosten sind in jedem produzierenden Betrieb ein Thema. Gerade bei der Wärmebereitstellung für Produktionsprozesse kann in den meisten Unternehmen ein großes Einsparpotenzial realisiert werden. Die Maßnahmen dazu sind einerseits eine verbesserte Energieeffizienz – beispielsweise durch Wärmerückgewinnung – und andererseits der Einsatz von erneuerbaren Energieformen (z.B. thermische Solaranlagen) als CO<sub>2</sub>-freie Alternative. PROMISE APPLICATION setzte es sich zum Ziel, in drei Fallstudien aus der Oberflächenbehandlungsindustrie für Metalle und Kunststoffe, die Solarthermie energetisch und wirtschaftlich sinnvoll mit Maßnahmen zur Energieeffizienz und dem Einsatz weiterer erneuerbarer Energieträger zu verbinden.

Den ersten Schritt in der Bearbeitung dieses Arbeitspaketes stellte die Auswahl von drei geeigneten Betrieben dar. Die Suche nach interessierten Firmen im Industriebereich der Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen erfolgte über eine ausführliche Internet-Firmenrecherche und Kontaktaufnahme per E-mail. Außerdem wurden die Betriebe zu einem Informationstag in Graz eingeladen, der im Herbst 2008 stattfand. Aufbauend auf den positiven Antworten, wurden Gespräche und eine erste Korrespondenz mit interessierten Firmen geführt. Anhand erster erhobener betrieblicher Kriterien wie Wärmebedarf, Standort oder Prozesse wurde die Auswahl von drei geeigneten Firmen getroffen. Die Durchführung der Fallstudien gestaltete sich in folgenden Schritten: Eingangsgespräch mit den teilnehmenden Firmen und Erhebung bestehender Daten, weitere Datenerhebung per Telefon oder E-mail und erste Energiebilanzierung, Zwischenpräsentation bei den Firmen, Messung fehlender Daten, detaillierte Energiebilanzierung und Erstellung eines Konzeptes zur Energieeffizienzsteigerung, Auslegung einer thermischen Solaranlage (bei Bedarf) zur Deckung des verbleibenden Wärmebedarfs im Nieder/Mittel-Temperaturbereich, wirtschaftliche Betrachtung der entwickelten Maßnahmen (Einsparung, Investitionskosten, Amortisationszeit) und schließlich Präsentation der Ergebnisse bei den Firmen.

## 2 Inhaltliche Darstellung, Ergebnisse und Schlussfolgerungen

### AP 1: Wärmeintegration

Die Entwicklung des Programms PE<sup>2</sup> begann im Rahmen der IEA Task 33/IV „Solar Heat for Industrial Processes“. Ziel war es ein Tool zu entwickeln, welches auf der Pinch Analyse basiert, für Niedertemperaturprozesse speziell geeignet ist und eine optimale Basis für die weiteren Überlegungen zur Einbindung von neuen Energiesystemen, insbesondere solare Prozesswärme, darstellt. Die automatische Berechnung von Wärmetauschernetzwerken gibt dem Anwender die Möglichkeit ein thermodynamisch optimales Wärmetauschernetzwerk zu generieren, welches in der Folge auf seine praktische Umsetzung evaluiert werden kann.

Im Rahmen der Diskussionen im internationalen Konsortium der IEA Task 33/IV, wie auch auf Grund der Anwendung des Programms an einigen Fallbeispielen aus der Lebensmittelindustrie, wurde rasch deutlich, dass die zeitliche Dimension für die Berechnungen und Überlegungen unabdingbar ist, da sehr viele Prozesse im Niedertemperaturbereich als Batch-Prozesse ablaufen. Weiters gab und gibt es im Rahmen von Optimierungskonzepten immer den Wunsch, möglichst schnell auf Kosten zurückgreifen zu können.

Auf Grund der oben genannten Ausgangssituation wurde im Rahmen des Projektes PROMISE APPLICATION daher der Schwerpunkt der Weiterentwicklung von PE<sup>2</sup> auf die Integration der zeitlichen Dimension und der damit verbundenen Berechnung von nötigen Speichergrößen gelegt, sowie auf die Erstellung einer Kostendatenbank für Wärmetauscher zur Erweiterung der Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Für die Integration neuer Berechnungen und Module wurde ein Vorgabe-Dokument inklusive aller nötigen Berechnungsschritte erarbeitet, welches vom Werkvertragspartner anschließend in die Programmstruktur eingebunden wurde. Zwei Beispielprojekte wurden als Testprojekte gewählt, mit welchen die neuen Programmiererweiterungen von Joanneum Research getestet wurden und der Code optimiert wurde. Für das Testen der Speicherberechnung wurde ein eigenes Testausgabefile entwickelt. Als Entwicklungsumgebung für die Fehlersuche und -behebung wurde Visual Studio 2005 eingesetzt. Als neue Programmiererweiterungen wurden erarbeitet:

- Speicherberechnung für diskontinuierliche Prozesse
- Grafischen Ausgabe von Jahresdauerlinien für die verbleibenden Energieströme im System
- Darstellung der Energieströme im Sankey Diagramm
- Dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung

Da Jahresdauerlinien eine wichtige Grundlage für die Auslegung jeglicher neuer Energieversorgungssysteme sind, wurde die Darstellung von Jahresdauerlinien auf unterschiedlichen Temperaturniveaus implementiert. Die Darstellung auf unterschiedlichen Temperaturniveaus stellt besonders für die Einbindung von Niedertemperaturenergie (z.B. Solarenergie) eine wichtige Informationsquelle dar. Sankey Diagramme wurden zusätzlich eingebunden, um die Visualisierung der Einsparungen von möglichen Wärmetauschernetzwerken auch graphisch darstellen zu können.

Für die Optimierung von bestehenden Modulen des bisher vorhandenen Programms PE<sup>2</sup> wurden Optimierungslisten erstellt, die teilweise - betreffend die Codierung von Algorithmen - von Joanneum Research durchgeführt wurden, teilweise - betreffend die Oberfläche und Struktur des Programms - extern durchgeführt wurde.

Diese Optimierungen betreffen:

- Verbesserung der Eingabe von diskontinuierlichen Strömen (Batch-Prozesse), sowie Überarbeitung der Berechnungen
- Erweiterung der Eingabemöglichkeit für latente Wärmeströme
- Optimierung der mathematischen Algorithmen für optimale Wärmetauschernetzwerke
- Optimierung der Speichermöglichkeiten von Projekten

Ergebnis der Erweiterungen im Rahmen von PROMISE APPLICATION ist ein vielseitiges Tool für die Evaluierung der thermodynamischen Möglichkeiten von Wärmeintegrationsmöglichkeiten (für kontinuierliche oder diskontinuierliche Prozesse), für die Einbindung neuer Energiesysteme auf Basis der Jahresenergiebedarfskurven auf unterschiedlichen Temperaturniveaus und für die Durchführung einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Die neue Programmversion liegt als CD vor und kann mittels eines Excel-Files auf jedem Windows-Rechner installiert werden. Das Programm-Manual aus dem IEA Task 33/IV wurde erweitert, womit jetzt ein umfangreiches Dokument für die Programmnutzung zur Verfügung steht.

Die im Antrag definierten Ergebnisse

- Erweiterung des Pinch Programms im Bereich Wärmetauscherkostenberechnung und Amortisationszeitberechnung mittels Anbindung an eine Wärmetauscherdatenbank sowie
- Erhöhung der Wärmerückgewinnung durch Kombination zeitlich unterschiedlich ablaufender Prozesse und Ströme über Speichereinbindung

konnten somit realisiert werden. Lediglich die Wärmetauscherkostendatenbanken als Erweiterung im Bereich Wirtschaftlichkeitsberechnungen konnte auf Grund von im Projekt gemachten Erfahrungen nicht realisiert werden.

## AP 2: Matrix zur Energieeffizienz und Solaren Prozesswärme für die Industrie

In diesem Arbeitspaket wurde die im Rahmen der IEA Task 33 „Solar Heat for Industrial Processes“ erarbeitete „Matrix zur Energieeffizienz und Solaren Prozesswärme für die Industrie“ mit dem besonderen Schwerpunkt auf die Bereiche der Oberflächenbehandlungsindustrie für Metalle und Kunststoffe weiter ausgebaut. Aus Literaturdaten, Produktionsdaten der Firmen aus AP 5 und bekannten Fallbeispielen wurde das Expertensystem weiter mit spezifischen Daten hinsichtlich Energieeffizienzpotentialen, Benchmarkdaten, Einbindungsbeispielen von erneuerbaren Energieträgern und möglichen solaren Integrationskonzepten für die einzelnen Prozesse erweitert.

Auf Grund der Größe der Datenmenge und einer besseren Möglichkeit der Verbreitung wurde die Matrix im Rahmen des Projektes in das System einer Wikipedia Homepage integriert (siehe Abbildung 1. „Wikiweb-Benutzeroberfläche“ - <http://energy-in-industry.joanneum.at>). Dadurch wird die kontinuierliche Erweiterung der Matrix vereinfacht und eine schnelle Verbreitung der Ergebnisse durch den Zugang verschiedenster Nutzer über das Internet gewährleistet. Die Datenbank ist frei zugänglich und es besteht die Möglichkeit der Bearbeitung und/oder Erweiterung der Datenbank für externe Nutzer mittels Login (Benutzername und Passwort), die online vom Betreiber der Datenbank (Joanneum Research) angefordert werden können. Damit ist gewährleistet, dass Änderungen vom Betreiber nachverfolgt und gegebenen falls. editiert werden können. Informationen hierzu finden sich auf der Matrix-Homepage in Form einer Kurzbeschreibung.

Low temperature processes in various industry sectors

[edit]

	general description	solar integration schemes	Industry sectors			
UNIT OPERATIONS			Subsection DA food	Subsection DB textiles	Subsection DJ metals	Subsection DG chemicals
		INFO	INFO	INFO	INFO	INFO
CLEANING	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x	x	x	x
DRYING	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x	x	x	x
EVAPORATION & DISTILLATION	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x			x
BLANCHING	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x			
PASTEURIZATION	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x			x
STERILIZATION	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x			x
COOKING	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x	x		
OTHER PROCESS HEATING	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x	x	x	x
GENERAL PROCESS HEATING	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x	x	x	x
HEATING OF PRODUCTION HALLS	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x	x	x	x
COOLING OF PRODUCTION HALLS	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x			x
COOLING PROCESSES	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x		x	x
MELTING	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x			
EXTRACTION	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x			
BLEACHING	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>	x	x		
PAINTING	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>		x	x	x
SURFACE TREATMENT	<a href="#">info</a>	<a href="#">info</a>			x	

Abbildung 1: Die Benutzeroberfläche der Matrix im "Wikiweb"

Die Datenbank besteht mittlerweile aus 550 miteinander verlinkten Seiten und enthält etwa 1.200 Dokumente in Form von Tabellen, Grafiken oder Fließschemata.

### AP 3: Integration von solaren Prozesswärmeanwendungen

Dieses Arbeitspaket behandelt die Integration von thermischen Solaranlagen in industrielle Prozesse und gliedert sich thematisch in zwei Teile (Stagnationskühler und Solar Kalkulationstool), die jeweils für den großflächigen Einsatz solarer Prozesswärmeanwendungen essentiell sind:

Zum einen erfordert der Einsatz jeglicher Energieversorgungstechnologie in der Industrie einen möglichst reibungsfreien Betrieb um teure Produktionsstillstände zu vermeiden und zum anderen müssen „alternative“ Investitionen, wie sie die Anschaffung einer thermischen Solaranlage darstellt, möglichst den wirtschaftlichen Anforderungen genügen. Grundlegende Fragestellungen hierzu, die im Rahmen von AP3 behandelt werden, betreffen die Beherrschung des Stillstandsverhaltens (Stagnation) großer thermischer Solaranlagen für industrielle Anwendungen (Teil 1) sowie die Bewertung der Wirtschaftlichkeit mittels einer Ertrags-Erst-Abschätzung (Teil 2).

#### Teil 1: Stagnationskühler

Bisher wurden solare Großanlagen für nicht industrielle Anwendungen aus Wirtschaftlichkeitsgründen so konzipiert, dass Stagnation (Stillstandsverhalten einer Solaranlage) nur bei sehr seltenen technischen Gebrechen oder zu wenig Energieabnahme auftritt. Kommt es dennoch zu einer Stagnation, so führt diese zu einem entsprechenden Wartungsaufwand was jedoch wegen der geringen Häufigkeit in Kauf genommen wird. Die trifft jedoch nicht auf solare Großanlagen für industrielle Anwendungen zu.. Bei Stagnation muss kurzfristig mit sehr hohen thermischen Dampfleistungen gerechnet werden, die abzuführen sind. Ohne entsprechende Kühlmaßnahmen führt das über die Sicherheitseinrichtung zu einer Teilentleerung des Systems mit Verlusten am dampfförmigen Wärmeträger.

Bei Großanlagen für industrielle Anwendungen kann jedoch häufig Stagnation auftreten (z. B. Wochenendstillstände, Betriebsferien oder Prozessabhängigkeiten). Zur Vermeidung von aufwändigen Wartungsarbeiten dürfen dabei keine Wärmeträgerverluste auftreten und eine automatische Wiederbefüllung muss gewährleistet sein.

Für kleinere Solaranlagen (bis etwa 50 m<sup>2</sup>) wurde bereits in vorangegangenen Projekten [1] ein in der Praxis vielfach erprobter und bewährter, ohne Hilfsenergie arbeitender Stagnations-Luftkühler entwickelt. Dieses Konzept, jedoch mit effektiverer Kühlwirkung (Siedekühlung), wurde in diesem Projekt für Großanlagen weiterentwickelt.

#### *Bestandsaufnahme zu bestehenden Großanlagen*

Eine Bestandsaufnahme zu Maßnahmen für die Bewältigung des Stillstandsverhaltens bei realisierten großen Solaranlagen wurde durchgeführt. Die Fragenbogenaktion ergab 10 Rückmeldungen (500 bis 5.500 m<sup>2</sup> Kollektorfläche). Neun Anlagen speisten in ein Nah-/Fernwärmenetz ein, eine Anlage versorgte einen industriellen Prozess. Dementsprechend war die berichtete Stagnationshäufigkeit: „nie“ (fünf Anlagen), „selten“ (eine Anlage), „seit Nachtabkühlung nicht mehr“ (eine Anlage), „mehrmals“ (eine Anlage, trotz Nachtabkühlung, Anlage für industrielle Prozesswärme), keine Angabe bei zwei Anlagen. Alle verwenden einen drucklosen Auffangbehälter in dem die über das Sicherheitsventil und / oder ein Überströmventil ausgeblasene Flüssigkeit gesammelt wird. Die Wiederbefüllung erfolgt entweder „manuell“, „manuell mit Pumpe“, oder „automatisch mit druckgesteuerter Füllpumpe“. Generell werden Wärmeträgerverluste und Wartungsaufwand in Kauf genommen.

#### *Entwicklung eines Stagnationskühlers*

Die Entwicklung des Stagnationskühlers erfolgte nach den folgenden Kriterien:

- Hohe Leistungsfähigkeit bei kleinem Volumen
- Vollständige Kondensation des Wärmeträgerdampfes und Abkühlung sowohl der ausgedrückten Flüssigkeit als auch des Kondensats auf <100°C, damit bei anschließender Entspannung auf Umgebungsdruck keine Nachverdampfung auftritt
- Funktion ohne Hilfsenergie auch für mehrere hintereinander (Tagesabstand) stattfindende Stagnationsvorgänge
- Gleiche Wartungsintervalle wie sie auch für die Solaranlage angewendet werden

Wegen der hohen Effizienz der Wärmeübertragung bei Filmkondensation und Blasensieden wurde ein Siedekühler konzipiert, bei dem ein ausreichender Wasservorrat als Kühlmedium vorgesehen ist. Entkalktes Wasser, das bei industriellen Prozessen vielfach bereits verfügbar ist, wird über einen Schwimmerschalter nachgefüllt. Ein für diese Art der Stagnationsbeherrschung geeignetes Systemkonzept wurde entworfen.

#### *Erstellung eines Dimensionierungsprogramms für diesen Kühler*

Ein detailliertes Dimensionierungsprogramm wurde erstellt. Der Wärmeübergang von der Dampfphase zum Kühlmedium unterteilt sich in drei Schritte:

- Filmkondensation des Dampfes. Um ein gutes Abfließen des Kondensats und damit einen geringen Wärmewiderstand des gebildeten Kondensatfilms zu erreichen, ist eine senkrechte Anordnung einiger parallel geschalteter kürzerer Kondensationsrohre günstig. Wärmeübergangskoeffizienten von etwa 5.000 – 10.000 W/m<sup>2</sup>K werden erreicht.
- Wärmeübertragung durch das Rohr. Das für den Prototyp verwendete Edelstahlrohr hat einen Wärmedurchgangskoeffizienten von etwa 4.000 W/m<sup>2</sup>K.



- Blasensieden der Kühlflüssigkeit: hier kann mit einem Wärmeübergangskoeffizient von etwa  $2.500 \text{ W/m}^2\text{K}$  gerechnet werden.
- Insgesamt inklusive der Berücksichtigung von Fouling kann mit etwa  $1.000 \text{ W/m}^2\text{K}$  gerechnet werden. Die wirksame Temperaturdifferenz beträgt dabei je nach Druck im Stagnationsfall etwa  $60 \text{ K}$  (5 bar ü).
- Bei dem für Kleinanlagen üblichen Stagnationsluftkühler werden vergleichsweise bezogen auf die Rohrrinnenfläche etwa  $100 \text{ W/m}^2\text{K}$  bei einer wirksamen Temperaturdifferenz von etwa  $130 \text{ K}$  erreicht.

#### *Einbindung des Kühlers in den Primärkreis der Solaranlage*

Der Kühler muss sowohl vom Vorlauf- als auch vom Rücklaufrohr gleichzeitig anströmbar sein. Nach dem Kühler ist ein Überströmventil zur definierten Entspannung der Flüssigkeit notwendig, wobei die zulaufende Flüssigkeit  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  nicht überschreiten darf, damit ein weiteres Verdampfen im Überströmventil vermieden wird. Die entspannte Flüssigkeit wird im Auffanggefäß, in das auch das Sicherheitsventil entleeren kann, aufgefangen. Nach Beendigung des Stagnationsvorganges und Unterschreiten des Normalbetriebsdruckes wird über einen Druckschalter die Anlage automatisch wiederbefüllt. Das verdampfte Kühlwasser wird über Dach abgeleitet. Besonderes Augenmerk ist auf die richtige Dimensionierung des Membranausdehnungsgefäßes (MAG) zu achten. Dieses muss so dimensioniert sein, dass es zwar die Flüssigkeitsdehnung im normalen Betriebsdruckbereich aufnimmt, aber bei Dampfentwicklung, noch bevor Dampf in kritische Anlagenbereiche gelangen kann, einen entsprechenden Druck entwickelt, dass das Überströmventil anspricht. Das bedeutet für Solaranlagen ungewöhnlich kleine MAG-Volumina. Aus diesem Grund sind Druckhalteanlagen, welche mit konstantem Druck arbeiten, für diese Art der Stagnationsbeherrschung in der Regel nicht geeignet.

#### *Erprobung eines Prototyps dieses Stagnationskühlers*

Eine bestehende Großanlage ( $501 \text{ m}^2$  bei der Fa. S.O.L.I.D – Grottenhofstraße, Graz) wurde mit einem Prototyp nachgerüstet und es wurden einige Stagnationsvorgänge messtechnisch untersucht. Bei einer Anlage des vorliegenden Typs ist mit spezifischen Dampfleistungen der Kollektoren von maximal etwa  $130 \text{ W/m}^2$  zu rechnen [1]. Dementsprechend wurde der Prototyp des Kühlers auf eine Kondensationsleistung von  $70 \text{ kW}$  dimensioniert und von der Fa. Pink Behälterbau, Langenwang, Österreich, inklusive Messsensorik (Niveaus, Temperatur) hergestellt.

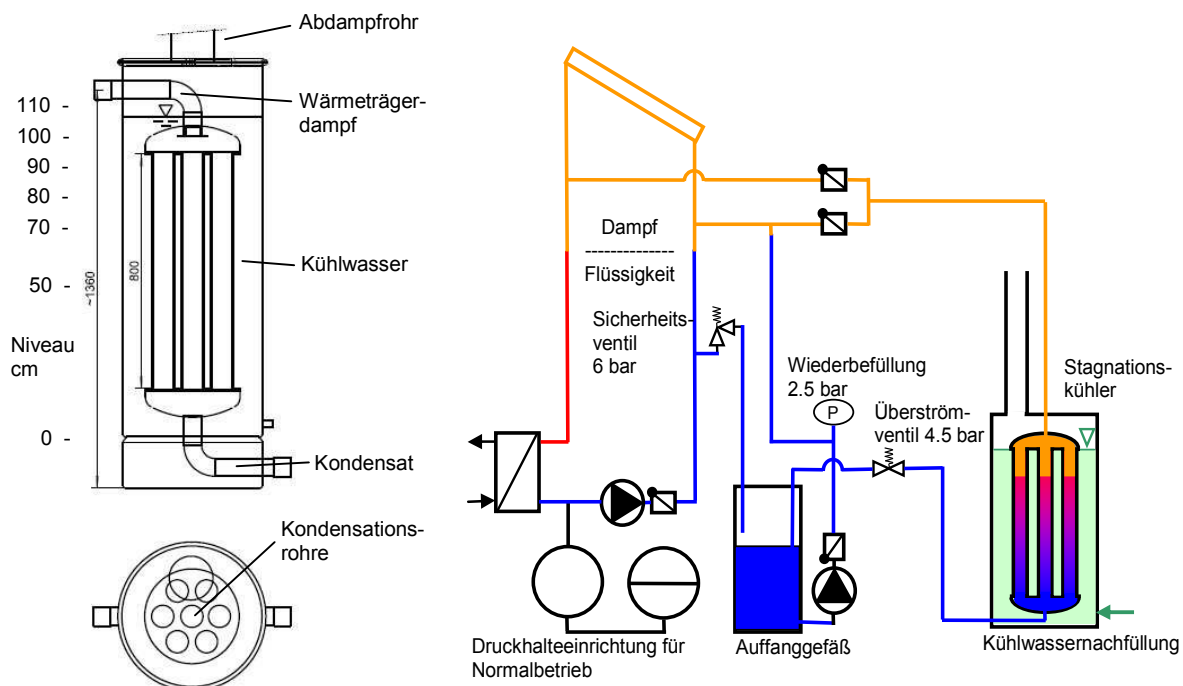
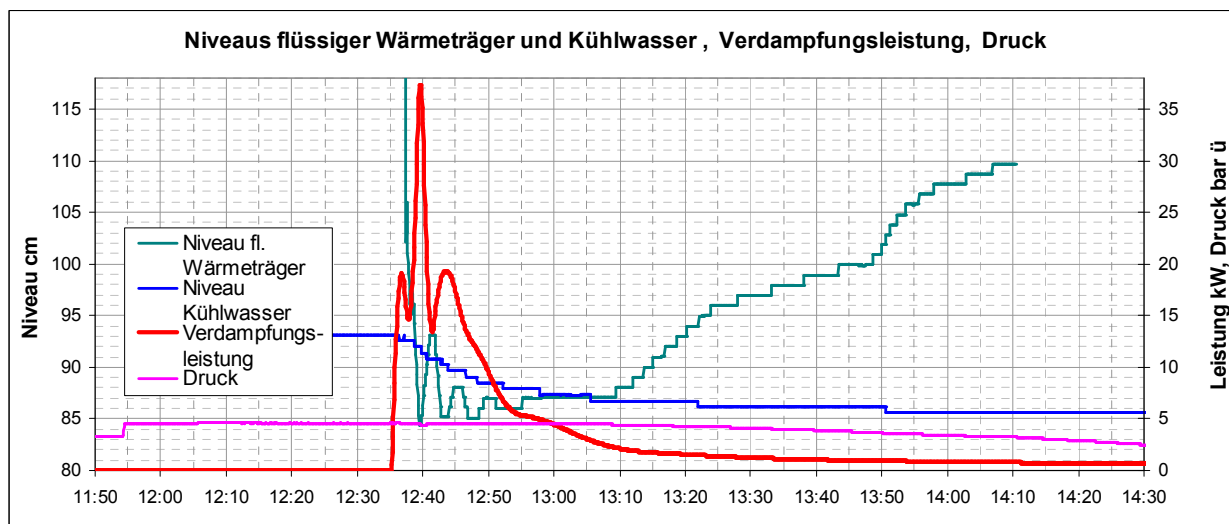
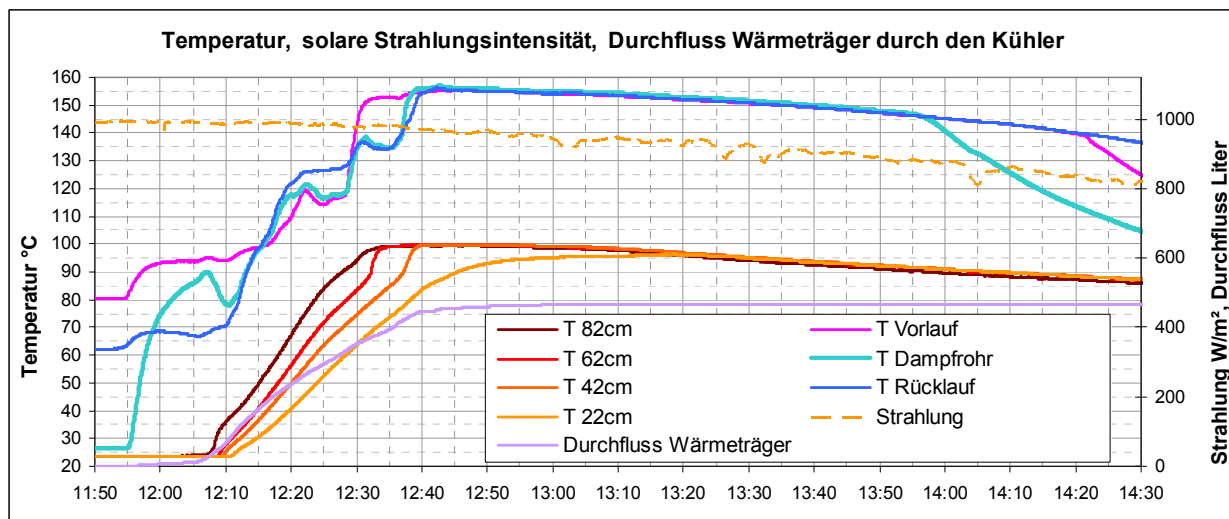


Abbildung 2: Prototyp des Stagnationskühlers und Prinzipschema der Einbindung des Kühlers in die solare Großanlage

Die durchgeführten Versuche und die Detailmessungen zeigten, dass die Dampfausbreitung mit diesem Kühler wirksam begrenzt wurde und es waren auch ausreichende Kühlmittelreserven vorhanden um mehrere Stagnationsvorgänge ohne Nachfüllung beherrschen zu können, das heißt die Betriebssicherheit der Anlage ist auch bei längeren Hilfsenergieausfällen gewährleistet.

In der folgenden Abbildung 3 ist ein Messbeispiel dargestellt. Auffällig ist der lange Zeitraum vom Abschalten der Solarpumpe (11:53) bis zu dem Zeitpunkt, an dem Dampf den Kühler erreichte (12:38). Da das Membranausdehnungsgefäß für eine derartige Stagnationskontrolle nicht richtig dimensioniert war – es ist viel zu groß – wurde die Verbindung zum MAG mit dem Abschalten der Pumpe geschlossen. Es kam deshalb zu einem unmittelbaren Druckanstieg und das Überströmventil öffnete (11:54:30). Der obere Teil des Kühlwasservorrats erreichte mit dem Durchfluss des heißen Wärmeträgers Siedetemperatur. Kurz darauf begann etwa gleichzeitig mit der Kondensation des Dampfes (das Niveau des Kondensats ist unter dem des Kühlwassers) auch die Verdampfung des Kühlwasservorrats. Die aus dem Absinken des Kühlwasservorrats errechnete Dampfleistung erreichte zu Beginn etwa 37 kW. Insgesamt strömten etwa 480 l Wärmeträgermedium durch den Kühler und 14 l Kühlwasser wurden verdampft.



**Abbildung 3:** Messbeispiel eines Stagnationsvorganges bei einer Strahlungsleistung von etwa 960 bis 990 W/m<sup>2</sup>. Die Pumpe des primären Solarkreises wurde um 11:53 abgeschaltet. Bezeichnungsbeispiele: T 82cm – Temperatur Kühlwasser beim Niveau 82 cm (Abbildung 2), T Dampfrohr – Temperatur des Zulaufrohrs unmittelbar vor dem Kühler

Allerdings ist der Wiederbefüllvorgang bei dieser Versuchsanlage nicht unproblematisch. Es wurden mehrere starke Kondensationsschläge beobachtet. Die Ursache dieser Kondensationsschläge ist durch die spezielle, bei dieser Anlage aus Raumgründen vorgegebene Leitungsführung der langen Vor- und Rücklaufleitungen gegeben. Zur Vermeidung dieser Kondensationsschläge ist auf eine konsequent fallende Leitungsführung vom Kollektor in Richtung zum Einspeisepunkt zu achten [1]. Bei der Bestandsaufnahme bestehender Großanlagen wurden keine Hinweise zu gravierenden Kondensationsschlägen bei dieser Art der Wiederbefüllung gemacht.

### Schlussfolgerungen

Der Stagnationskühler hat aus heutiger Sicht seine Funktionsfähigkeit entsprechend der Aufgabenstellung voll nachgewiesen. Ausgehend vom getesteten Prototyp erscheint eine Hochskalierung bis zur etwa 10-fachen Leistungsfähigkeit und auch mehr durchaus machbar. Das würde dann Anlagengrößen entsprechen, wie sie derzeit in einer Systemeinheit maximal realisiert werden.

Den zusätzlichen Kosten für den Kühler und die zusätzlichen Komponenten (z. B. Überströmventil, Kühlwassernachspeisung, Verrohrungen) stehen auch Kosteneinsparungen durch kleinere

Membranausdehnungsgefäße, vermiedener Wärmeträgerverlust und wesentlich geringerer Wartungsaufwand gegenüber.

### Teil 2: Solar Kalkulationstool

Mit Hilfe eines Solarkalkulations-Tools ist es möglich, ohne Simulation den Merkmalen einer realen Solaranlage möglichst nahe zu kommen. Durch die Verknüpfung von Sonneneinstrahlungsdaten mit bereits gemessenen Daten von bestehenden Anlagen, die Eingabe von realen und charakteristischen Anlagenkennwerten (Kollektoraufständerung, Beschattung, etc.) und Energiedaten ist es möglich, den zu erwartenden Solarertrag zu berechnen. Da das Kalkulations-Tool die Strahlungsdaten automatisch aus dem Internet übernimmt, ist die Handhabung einfach. Diese Form der Verbindung von Strahlungsdaten und der Verprobung der real gemessenen Anlagendaten von Großanlagen ist in keiner anderen Solarkalkulation integriert und stellt eine große Verbesserung zu bestehenden Werkzeugen dar. Für die Planung und Ertragskalkulation von solaren Großsolaranlagen gibt es derzeit keine adäquate Softwareunterstützung auf dem österreichischen Markt. Ein Solarertrags-Prognose-Tool wurde im AP 3. von PROMISE APPLICATION entwickelt.

Ziel war die Entwicklung von statistischen Modellen, mit deren Hilfe der Energie Output einer Solaranlage sehr einfach abgeschätzt werden kann. Diese Modelle sollen Wetterdaten sowie bestehende Messdaten von S.O.L.I.D. Solaranlagen so benutzen, dass diese Informationen in brauchbare Prognosen umgesetzt werden können. Damit ist es möglich, Erträge auf verschiedenen Zeitskalen zu modellieren. Außerdem wurden konkrete Vorschläge zur Vorhersage von Tages- und Monatserträgen unterbreitet.

Für die Analyse von Solaranlagen standen Daten von fünf Anlagen in Graz und einer in Judendorf mit unterschiedlichen Aufzeichnungszeiträumen (von 392 bis 2.080 korrekten Aufzeichnungstagen) zwischen 2002 und 2008, sowie Wetterdaten für den Zeitraum 01.01.2002 - 31.12.2008 zur Verfügung.

Bei der Aufbereitung der Messparameter der Solaranlagen wurden Aufzeichnungsfehler (Negativwerte) festgestellt. Auf Grund dieser Fehler und vieler Ausreißer musste viel mehr Arbeit als geplant in die Datenerfassung und Bereinigung der Rohdaten investiert werden.

Darüber hinaus wurden mit Hilfe von in VBA programmierten Excel-Files von Herrn DI Hausner zusätzliche Variablen, wie der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen und die geneigten Global- und Diffusstrahlungen, berechnet, um daraus dann die Kollektorkennwerte  $\eta_{0\_dir}$ ,  $\eta_{0\_diff}$ ,  $c_1$  und  $c_2$  berechnen zu können. Diese Kennwerte stellten sich im Laufe der Analyse als recht aussagekräftig für den Ertrag einer Solaranlage heraus, da sie sich aber teilweise aus Daten von schon erzielten Erträgen zusammensetzten, wurden diese für die Erstellung der Prognosemodelle nicht berücksichtigt.

Die erste Analyse der Zielvariablen Wärmemenge (in kWh bzw. kWh/m<sup>2</sup> gemessen mittels Wärmemengenzähler) zeigte erwartungsgemäß die höchsten gesamten und mittleren Erträge in den Sommermonaten April bis September.

Mittels Korrelationen und linearen Regressionen wurde festgestellt, dass die Globalstrahlung (geneigt und horizontal) den stärksten Einfluss auf den spezifischen Ertrag (kWh/m<sup>2</sup>) hat, gefolgt von der Lufttemperatur und der Diffusstrahlung (geneigt oder als Diffusanteil). Auch nicht außer Acht gelassen werden dürfen Anlagendaten wie Kollektorneigungswinkel, die äußere Leitungslänge, der Glykolgehalt oder die Wärmekapazität.

Für die Prognosemodelle wurden nur vorhersagbare (horizontale Global-, Diffus-, Direktstrahlung und Lufttemperatur), bzw. aus vorhersagbaren berechnete Variablen (geneigte Global-, Diffus- und Direktstrahlung), sowie die Anlagendaten berücksichtigt. Da nur Solaranlagen mit ähnlichen geographischen Koordinaten zur Verfügung standen, waren diese Koordinaten hier nicht anwendbar. Unter der Annahme unbekannter Anlagendaten verschlechterte sich das korrigierte R-Quadrat ( $R^2$  ist ein Maß für statistische Abweichungen) nur um 1 - 2%.

Insgesamt lassen sich mittels der Prognosemodelle mit geneigter Strahlung über 85% des spezifischen Tagesertrages (kWh/m<sup>2</sup>) und ca. 90% des spezifischen Monatsertrages (kWh/m<sup>2</sup>) erklären. Mit horizontaler Strahlung sind es immerhin noch über 81% des spezifischen Tagesertrages (kWh/m<sup>2</sup>) und ebenfalls ca. 90% spezifischen Monatsertrages (kWh/m<sup>2</sup>).

Für alle Prognosemodelle wurden prinzipiell immer die Global- und Diffusstrahlungen (geneigt, horizontal und als Diffusanteil), sowie die Lufttemperatur in Kombinationen mit den Anlagedaten verwendet.

Für die beiden Excel Prognosefiles „PROGNOSE\_Tag“ und „PROGNOSE\_Monat“ wurden die horizontale Globalstrahlung, deren Diffusanteil und die Lufttemperatur verwendet, sowie der Kollektorneigungswinkel, die äußeren Leitungslänge und die Wärmekapazität.

Die Systembetrachtung – Solar- und Prozesswärme - in einem Wirtschaftlichkeitstool ist ein völlig neuer, innovativer Ansatz, der zum ersten Mal realisiert wurde.

Das Regressionsmodell ergab ein durchschnittliches R-Quadrat von mehr als 90% (linearer Zusammenhang der Daten).. Am Beispiel der Solaranlage Grottenhofstrasse (500 m<sup>2</sup> Solarfläche) konnte sogar ein R-Quadrat von 93,5% erreicht werden.

#### AP 4: Solares Businessmodell

Das solare Business Tool ist eine Basis um nicht nur die Solaranlage betrachten zu können, sondern zusätzlich auch die solare Prozesswärme. Die Betreiberfirma ist nicht nur für das Investment der Solaranlage zuständig sondern auch für die Kosten der Planung, der Prozessoptimierung und deren Umsetzung. Es wurden die Kosten der Einbindung untersucht (Engineering, Investment, Wartung, Betriebsführung) und ein Tool erstellt, dass die Basis für die Machbarkeitsstudien in den folgenden Arbeitspaketen bildet. Die Ergebnisse dienen der Betreiberfirma und den Industriebetrieben als Entscheidungsgrundlage für die Umsetzung.

Es wurde ein Businessmodell zur Einbindung der Prozesswärme erstellt, in welchem die Kosten abgeschätzt werden können und auf die verschiedenen individuellen Kundenwünsche eingegangen werden kann.

Es werden verschiedene Arten dieses Businessmodells für den Industriebetrieb erarbeitet:

- Kauf
  - Hier gibt es eine Rücknahmegarantie nach einer gewissen Nutzungsdauer. Der Eigentümer ist der Kunde. Die Investition bezieht sich auf die Anlagenteile und verlorene Leistungen. Die laufenden Kosten beinhalten eventuelle Wartungen.
- Leasing
  - Eine Ausstiegsvariante nach unterschiedlichen Laufzeiten ist vorgesehen. Der Eigentümer ist der Leasinggeber. Die Investition des Kunden beschränkt sich auf die verlorenen Leistungen. Hier beinhalten die laufenden Kosten die Wartung, Leasingraten und Leasing-Fee.
- Contracting
  - Contractingmodelle mit Ausstiegsvarianten nach unterschiedlichen Laufzeiten. Eigentümer der Anlage ist der Contractor. Die Investition des Kunden beschränkt sich auf die verlorenen Leistungen.
  - In diesem Fall sind Wartung, Energiepreis und Contracting-Fee in die laufenden Kosten integriert.

Die verschiedenen möglichen Formen der Finanzierung werden geklärt. Auch wird dargestellt, welche Fördermaßnahmen es gibt, in welcher Höhe und unter welchen Bedingungen.

Auf Basis der Kundendaten und den Daten der Solaren Integration wird ein Investment erarbeitet.

Danach wird überprüft, welche Form des Businessmodells am sinnvollsten ist.

Durch das neu entwickelte Businessmodell ist es möglich, das Investment und die Kosten der Prozesswärme abzuschätzen. Auch können dadurch verschiedene Analysen erstellt werden. Weiters kann die Kostenreduktion auf Grund der durchgeführten Prozessoptimierung herausgearbeitet werden und außerdem ein Gesamtpaket der Dienstleistungen angeboten werden.

Es werden Standardverträge für die Industriekunden erarbeitet. Dabei wurde insbesondere auf Eigentumsgrenzen, Zutrittsrechte und weitere relevante rechtliche Fragen eingegangen.

In diesem Arbeitspaket wurde mit den Informationen aus den Fallstudien (AP 5) ein Businessmodell erarbeitet.

Der Kunde kann damit die technischen, finanziellen und steuerlichen Vorzüge der vorgeschlagenen Anlage mit den bisherigen Energiekosten vergleichen. Mit den Informationen, die das Tool bietet, kann der Industriekunde den wirtschaftlichen Nutzen der Solaranlage für seinen Betrieb erkennen.

Für die Contractingfirma und damit den Finanzier einer Solaranlage stellt das Businessmodell ein Tool dar, das das Risiko für das jeweilige Projekt leichter erkennen und darstellen lässt.

Für die Solartechnikfirma bietet sich durch das Businessmodell die Möglichkeit einer offenen Kostenkalkulation gegenüber der Contractingfirma. Dadurch ist klar ersichtlich welche Kosten und welcher Energieertrag als Basis für die Wirtschaftlichkeit herangezogen worden ist. Dadurch wird das Vertrauen bei beiden Partnern verstärkt und es kommt rascher und reibungsloser zu einer Projektumsetzung.

Die Berechnung der Investitionskosten, laufenden Kosten (dazu zählen die Kosten für die Wartung und Überprüfung der Anlage, Finanzierungskosten etc.) und Erträge für den Investor und den Anlagenbetreiber in dem Businessmodell können dargestellt werden. Mit dem aus AP 3 resultierenden solaren Kalkulationstool können realistische Ertragsabschätzungen für das Businessmodell herangezogen und verarbeitet werden. Zusätzlich stehen mit den Kalkulationsergebnissen des Businessmodells auch die wahren Ausstiegskosten für den Kunden fest, sollte er sich dazu entschließen, aus dem Vertrag auszusteigen.

Für das Businessmodell wurde in PROMISE APPLICATION u.a. ein Leitfaden erarbeitet, in dem beginnend mit einer allgemeinen Beschreibung des Modells auf die erforderlichen Rahmenbedingungen und die Zusammenfassung der möglichen Förderungen für Großsolaranlagen eingegangen wird. Ebenso werden die für die Abwicklung eines Projektes notwendigen Schritte in Form eines Ablaufschemas eingehend beschrieben.

Das solare Businessmodell arbeitet auf Basis von MS Excel. Die durchgeführten Arbeiten führten zu folgenden Ergebnissen:

- Erstellung einer Methode für Contracting Angebote für Industriekunden (Excel Tool)
- Erweiterung der bisherigen Contractingmodelle um die Prozessoptimierung
- Contracting Leitfaden für Industriebetriebe
- Erstellung von Vertragsrichtlinien Standardvertrag für Contracting von Großsolaranlagen für Industriebetriebe
- Folgendes Tool wurde erstellt:
  - Economic Analysis inklusive Anleitung
- Folgende Dokumente wurden erstellt:
  - Leitfaden für die Wirtschaftlichkeit von Großsolaranlagen
  - Übersicht Leistungsmodelle für Contracting
  - Vorlage für einen Energieliefervertrag für solare Großanlagen

Bisher gab es für Kunden, Solartechnikfirmen und Energiedienstleister (Contractinganbieter) kein Tool für die Errechnung des wirtschaftlichen Nutzens von Prozesswärme. Das entwickelte Tool wird in

planerischer Anwendung eine enorme Arbeitserleichterung mit Zeitsparpotential für die Zielgruppen darstellen.

### AP 5: Fallbeispiel in drei Firmen im Bereich der Oberflächenbehandlung

Neben den wichtigen praktischen Erfahrungen, die im Rahmen der Fallstudien gewonnen werden konnten und teilweise in die Methodik zur solaren Prozesswärmeintegration eingeflossen sind, wurde nach Ende der Projektlaufzeit von mindestens einem teilnehmenden Unternehmen das Interesse an der Umsetzung des vorgestellten Konzeptes bestätigt. Mittlerweile befindet sich ein Nachfolgeprojekt in der Umsetzungsphase.

#### Fallstudie 1

Die erste teilnehmende Firma bietet industrielle Auftragsfertigung in den Bereichen Entwicklung, Fertigung und Oberflächentechnik an.

Etwa 15 bis 20 % des gesamten Erdgasbedarfs werden zur Erzeugung von Prozesswärme direkt in Gasbrennern verbrannt. Zur Bereitstellung von Warmwasser (< 90°C) wird ein mit Erdgas befeuerter Heizkessel mit einer Leistung von 2.907 kW eingesetzt. Zwei weitere Kessel dienen als Reserve. Warmwasser wird für die Produktionsbereiche Galvanik und Pulverbeschichtung, sowie zur Beheizung der Produktionshallen und Büros benötigt.

Im Jahre 2008 betrug der Jahresenergiebedarf an Erdgas 11.532 MWh.

Das erzeugte Warmwasser wird ausgehend vom Heizungsverteiler in der Heizzentrale den unterschiedlichen Produktionsanlagen bzw. -bereichen zugeführt und in einem geschlossenen Kreislauf über einen gemeinsamen Rücklauf zum Wiederaufwärmen der Kesselanlage zugeführt. Innerhalb des Kreislaufs erfolgt keine Trennung zwischen den Verbrauchern auf niedrigem Temperaturniveau (z.B. diverse Bäder < 50 °C) und jenen auf höherem Niveau (z.B. Trockner ca. 80 °C). Der Heißwasser-Grundlastgaskessel sowie ein Gasbrenner in der Pulverbeschichtung (Haftwassertrockner) sind bereits mit Abgaswärmetauscher ausgestattet, wodurch Abgasverluste reduziert werden. Die Abwärme der insgesamt drei Druckluftkompressoren wird derzeit noch nicht genutzt, ebenso wie die Abwärme am Kondensator einer Wasserrückkühlanlage.

#### *Optimierung*

Nach ausführlicher (Energie-) Datenerhebung und -analyse, sowie nach messtechnischer Erfassung ursprünglich unbekannter Energieströme ergeben sich in der vorliegenden Fallstudie folgende Optimierungsvorschläge:

- Behebung bzw. Nachbesserung von erhobenen Isoliermängeln
- Verringerung von Abgasverlusten bei einem Gaskessel durch Nutzung der Abgaswärme bis zu einem Temperaturniveau von 80 °C
- Regulierung der Verbrennungsluftzufuhr bei einem Gasbrenner
- Wärmerückgewinnung der Abwärme eines Grundlast-Druckluftkompressors bei 70 °C
- Verwertung der Abwärme am Kondensator eines Kaltwassersatzes mittels Hochtemperaturwärmepumpe
  - Zur Heizungsunterstützung und/oder Bereitstellung von Prozesswärme auf einem Temperaturniveau von 75 – 80 °C
- Einbindung einer thermischen Solaranlage mit 500 m<sup>2</sup> Bruttokollektorfläche (411,6 kW) bestehend aus 70 Stück Hochleistungs-Flachkollektoren Gluatmugl HT 8.4 und einem 40 m<sup>3</sup> Solarspeicher
  - Zur Bereitstellung von Prozesswärme für die Vorbehandlungsbäder in der Pulverbeschichtung
  - Zur Nutzung des kühlen Rücklaufs der Niedertemperatur-Hallenheizung während der Heizperiode

Optional wird außerdem eine Veränderung der hydraulischen Schaltung der Heizkreise zur Absenkung der Prozessrücklauftemperaturen hinsichtlich der Verminderung an Leitungswärmeverlusten und einer gesteigerten Effizienz der thermischen Solaranlage bewertet.

Das so ermittelte und präsentierte Gesamtmaßnahmenkonzept resultiert – mit einer Investitionsförderung von 30% - in einer statischen Amortisationszeit von 7,8 Jahren und führt zu einer Verringerung des betrieblichen Bedarfs an Erdgas von ca. 25 %. Die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen beträgt – unter Berücksichtigung des Mehrbedarfs an Strom – ca. 20 %.

*Table 1: Einsparpotential Assmann Ladenbau*

Maßnahme	Einsparung		Mehrbedarf an Strom
	Erdgas [MWh/a]	[t CO <sub>2</sub> /a]	[MWh <sub>el</sub> ]
Wärmerückgewinnung	467,7	115,5	-
Thermische Solaranlage	209,6	51,7	-
Hochtemperaturwärmepumpe	2.167,0	339,0	650
<b>Summe</b>	<b>2.844,3</b>	<b>506,2</b>	<b>650</b>

*Table 2: Investitionskosten der vorgeschlagenen Maßnahmen*

Maßnahme	Kosten [€]
Wärmerückgewinnung	11.430
Thermische Solaranlage	ca. 222.919
Hochtemperaturwärmepumpe	Ca. 90.000

### Fallstudie 2

Die zweite teilnehmende Firma produziert überwiegend metallische Dreh- und Drehkippschläge, englische Kantenverschlüsse und Griffe. Die Produktion umfasst den Bereich der Stanzerei, der Zink-Druckgießerei und der Oberflächenbehandlung. Die Wärmeversorgung des Betriebes erfolgt über fünf gasbefeuerte Warmwasserkessel, die jährlich eine Erdgasmenge von etwa 14 MWh verbrauchen. Das so erzeugte Warmwasser versorgt mit einer Vorlauftemperatur von 89 °C über Wärmetauscher verschiedene Behandlungsbäder im Bereich der Oberflächentechnik und die Hallenheizung. In der Zink-Druckgießerei werden große Mengen an Druckluft benötigt, die über acht Kompressoren mit einer elektrischen Anschlussleistung von 997 kW bereit gestellt werden. Zur Kühlung der Kompressoren wird Brunnenwasser benötigt. Im Jahr 2008 wurden die Kompressoren mit Wärmetauschern zur Wärmerückgewinnung nachgerüstet. Dadurch könnten theoretisch 550 kW an 70 °C heißem Wasser erzeugt werden. Um diese Abwärme nutzen zu können – eine direkte Einbindung in das bestehende Heißwassersystem ist auf Grund der Temperaturen nicht möglich – wurden die Prozessbäder in Hoch- und Niedertemperaturprozesse unterteilt. Für die Niedertemperaturbäder wurde eine neue Wärmerückgewinnungsleitung errichtet, über die sie mit dem 70 °C heißen Wasser der Druckluftkompressoren gespeist werden können. Doch auf Grund mangelnder Regelung und unterschiedlicher Auslastung der Druckluftkompressoren, wird dieses System meist nur zur Erzeugung von Brauchwasser für den Sanitärbereich genutzt. Der größte Teil der Abwärme kann daher nicht verwendet werden und die Kühlung der Druckluftkompressoren erfolgt weiterhin hauptsächlich mittels Brunnenwasser.



### Optimierung

Die für die vorliegende Fallstudie empfohlene Maßnahme zur Energieeffizienzsteigerung ist die Optimierung des bestehenden Systems zur Wärmerückgewinnung aus den Druckluftkompressoren.

Zu setzende Maßnahmen:

- Integration eines automatischen Regelungssystems und eines „Back-Up“ Wärmetauschers für die Abwärmeeinbindung in die Niedertemperaturprozesse
- Einbindung einer Hochtemperaturwärmepumpe zur Anhebung der Niedertemperaturabwärme auf ein nutzbares Temperaturniveau und Versorgung der Hochtemperaturprozesse

Eine thermische Solaranlage wird nicht weiter berücksichtigt, da diese von Seiten der Firma auf Grund der hohen Investitionskosten abgelehnt wurde.

Nachfolgend sind die Investitionskosten, Einsparpotentiale und die Amortisationszeit für das Gesamtkonzept dargestellt:

**Tabelle 3: Investitionskosten und Amortisationszeit**

Wärmepumpe	
Gaseinsparung [€/a]	122.941
Strommehrkosten [€/a]	74.655
Investitionskosten [€]	275.000
WRG Niedertemperaturprozesse	
Investition Regelung + Wärmetauscher [€]	20.000
Gaseinsparung [€/a]	41.600
Gesamt	
Gesamte Investitionskosten inkl. 25% Einbindung [€]	368.750
Gesamte Einsparung [€/a]	89.886
Statische Amortisationszeit [a]	4,1
CO <sub>2</sub> -Einsparung [t/a]	681
CO <sub>2</sub> -Einsparung [%] *	25

\* gesamter derzeitiger CO<sub>2</sub> Ausstoß: 2.750 t/a

Bei Umsetzung dieses Konzeptes können etwa 25% der bestehenden CO<sub>2</sub> Emissionen aus der Verbrennung von Erdgas eingespart werden.

### Fallstudie 3

Die dritte teilnehmende Firma arbeitet als Lohnveredler in den Produktionszweigen Pulverbeschichtung und Kathodische Tauchlackierung (KTL).

Prozesswärme wird über zwei Blockheizkraftwerke zur Verfügung gestellt. Der dabei produzierte Strom wird ausschließlich intern verwendet und nicht ins Netz eingespeist. Außerdem stehen zwei kleine Reserve-Gasbrenner zur Heißwassererzeugung zur Verfügung (je 70 kW). Das Heißwasser wird mit einer Vorlauf-Temperatur von 66°C in einen 5 m<sup>3</sup> Pufferspeicher gespeist, von wo aus die beiden Produktionslinien über Wärmetauscher mit Prozesswärme versorgt werden. Im Bereich der Pulverbeschichtung sind dies drei Spritz-Spülen, die auf einem Temperaturniveau von etwa 35 °C betrieben werden. Im Bereich der kathodischen Tauchlackierung handelt es sich dabei um eine alkalische Entfettung, eine Beize und eine Zink-Phosphatierung die bei höheren Prozesstemperaturen von ungefähr 55°C laufen. Die Rücklauf-Temperatur des Heißwassers von den Prozessbädern beträgt etwa 55°C. Abgesehen von den Behandlungsbädern verfügt die Firma für die Linie der Pulverbeschichtung über

einen Haftwassertrockner und zwei Einbrennöfen (Gelieröfen) und für die Linie der kathodischen Tauchlackierung über einen Trockenofen, allesamt gasbefeuert (Propangas). Weiters wurde für die Linie der Kathodischen Tauchlackierung eine direkt gasbefeuerte Anlage zur thermischen Nachverbrennung (TNV) der beladenen Luft aus dem Trockenofen installiert, welche gleichzeitig über eine Wärmerückgewinnung in das Heißwassersystem verfügt. Sie dient zu Produktionsbeginn zur schnellen Aufheizung der Prozessbäder.

### Optimierung

Folgende Optimierungsmaßnahmen wurden im Zuge dieser Fallstudie ausgearbeitet:

- Abwärmenutzung Kältemaschine (steht kontinuierlich, auch außerhalb der Produktionszeiten zur Verfügung)
- Abwärmenutzung Druckluftkompressor
- Abwärmenutzung der beiden Pulver-Gelieröfen

Mit einer Kombination aus diesen Maßnahmen kann der Heißwasserbedarf der Firma beinahe vollständig aus Abwärmequellen gedeckt werden (> 90 %). Da mit den Blockheizkraftwerken daher kein Heißwasser mehr produziert werden muss, fällt auch die interne Stromproduktion aus und die Differenz muss extern zugekauft werden. Die anfallenden Mehrkosten wurden in nachfolgender Berechnung selbstverständlich berücksichtigt. Für die geringe Differenz zwischen zur Verfügung stehender Abwärmeleistung und Wärmebedarf des Betriebes (ca. 12 kW) soll in Zukunft – falls nötig - einer der beiden Reserve-Gasbrenner eingesetzt werden. Mit der Abwärme der Kältemaschine und bei Bedarf durch Zuheizen des Reserve-Gasbrenners sollen die Prozessbäder außerhalb der Produktionszeiten warm gehalten werden. Dadurch ist das starke Aufheizen mit der TNV zu Produktionsbeginn nicht mehr nötig.

Für die vorliegende Firma besteht kein Potential zur Einbindung von Solarthermie, da beinahe der gesamte Warmwasserbedarf bereits mit Abwärmequellen gedeckt wird.

Der restliche Energiebedarf der Firma setzt sich aus dem Gasbedarf der Prozessbrenner zur Erzeugung von hohen Prozesstemperaturen (> 200 °C) zusammen.

Die Details des vorgeschlagenen Konzeptes sind nachfolgend zusammengefasst:

Tabelle 4: Abwärmequellen Griffner Pulverbeschichtung

	Abwärme	
	[kW]	[MWh/a]
Abwärme Druckluftkompressor	22,5	56,2
Nutzbare Abwärme Kältemaschine	23,2	203,4
Abwärme Gelieröfen	71,0	186,9
Summe	116,7	446,6

*Tabelle 5: Investitionskosten, Amortisationszeit und CO<sub>2</sub> Einsparung des Gesamtkonzeptes*

Investitionskosten [€]		
WRG Druckluftkompressor		4.000
WRG Kältemaschine		12.000
WRG Gelieröfen		15.000
+ 25 % Einbindung		7.750
Summe Investition [€]		38.750
Einsparung Propangas [€/a]		40.468 <sup>1)</sup>
Mehrkosten Strom [€/a]		34.119 <sup>2)</sup>
Tatsächliche Einsparung [€/a]		6.349
Statische Amortisationszeit [a]		6
CO <sub>2</sub> -Einsparung	[t/a]	76 <sup>2)</sup>
	[%]	7,1

<sup>1)</sup> Die BHKW werden stillgelegt und haben keinen Propangasbedarf mehr. Der geringe verbleibenden Heißwasserbedarf der Firma (11 kW) wird falls nötig über einen kleinen Reserve-Gasbrenner gedeckt und wurde hier eingerechnet.

<sup>2)</sup> Da die BHKW stillgelegt werden, wird intern kein Strom mehr erzeugt und muss daher extern zugekauft werden. Dies wurde auch in der Berechnung der CO<sub>2</sub> Einsparungen berücksichtigt.

Aus dem Gesamtkonzept ergibt sich eine Amortisationszeit von 6 Jahren, die durch eventuelle Investitionsförderungen noch abgesenkt werden könnte. Im Zuge dieser Fallstudie wurde eine CO<sub>2</sub> Einsparung von > 7% bezogen auf den gesamten derzeitigen Propangaseinsatz erreicht, aber von > 90% bezogen auf den Propangaseinsatz zur Heißwassererzeugung. Weitere Einsparpotentiale wären nur mehr durch die Substitution von Propangas für die Prozessbrenner (Prozesstemperaturen > 200 °C) durch CO<sub>2</sub>-neutrale Brennstoffe möglich. Dies würde jedoch umfangreiche Umbaumaßnahmen bedeuten und wurde daher nicht weiter betrachtet. Dieses Ziel kann nicht durch Wärmerückgewinnung oder die Einbindung von Solarthermie erreicht werden. Das diesbezügliche Potential wurde somit bestmöglich ausgeschöpft.

#### *Schlussfolgerungen aus AP 5*

Für alle drei Fallstudien wurden sehr große Potentiale zur Energie-Effizienzsteigerung und Reduktion des CO<sub>2</sub> Ausstoßes festgestellt.

In zwei Fällen wurde die Einbindung einer Hochtemperaturwärmepumpe zur Anhebung des Temperaturniveaus von Abwärmequellen vorgeschlagen. Wärmepumpen für Industrieanwendungen in diesem hohen Temperaturniveau sind derzeit noch nicht weit verbreitet, stellen jedoch eine sehr interessante Möglichkeit dar, um vormals nicht nutzbare Niedertemperatur-Abwärme nutzbar zu machen. Somit können die Möglichkeiten der betriebsinternen Wärmerückgewinnung deutlich verbessert werden. Im Zuge dieses Projektes wurden Informationen, Investitionskosten und Wirkungsgrade, sowie Hersteller von Hochtemperaturwärmepumpen recherchiert und Angebote eingeholt. Durch die im Folgeprojekt geplante Umsetzung des Energie-Konzeptes für eine Firma, ist die Installation einer Hochtemperaturwärmepumpe konkret geplant. Dies wird zur weiteren Verbreitung und zur Erlangung besserer Erfahrungswerte mit dieser vielversprechenden Technologie führen.

## 3 Ausblick und Empfehlungen

### AP 1: Wärmeintegration

Die Anwendung des Programms PE<sup>2</sup> in den Fallstudien hat gezeigt, dass mittlerweile ein funktionales Tool für Energieeffizienzanalysen entwickelt werden konnte, welches insbesondere bei komplexen Industrieprozessen mit vielen Wärmequellen und –senken seine Stärke beweist. In den vorliegenden Fallstudien lag auf Grund der vorhandenen Prozesse der Schwerpunkt der Optimierungen nicht immer auf der Wärmerückgewinnung. Damit liegt die Bedeutung der Programmanwendung für diese Studien weniger auf der Erstellung von Wärmetauschernetzwerken, sondern viel mehr auf der Ausgabe von Jahresdauerlinien auf unterschiedlichen Energieniveaus für die Planung von neuen Energieversorgungssystemen oder auf der Nutzung des Moduls zur dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung, welches nicht nur für Wärmetauscher, sondern für jegliche betriebliche Energieeffizienzmaßnahmen verwendet werden kann.

Dem Programm PE<sup>2</sup> fehlt, unabhängig von unterschiedlichen Weiterentwicklungsmöglichkeiten, für die Marktreife einer ersten Version noch ein gut koordinierter und strukturierter Testlauf von mehreren unabhängigen Personen, die mit der Pinch Analyse arbeiten. Insbesondere die Fehlerausgabe bei falscher Bedienung muss noch ausgebaut werden.

### AP 2: Matrix zur Energieeffizienz und Solaren Prozesswärme für die Industrie

Für eine breite Nutzung der Matrix wird in Zukunft eine intensive Öffentlichkeitsarbeit notwendig sein, um auch neue Experten auf dem Gebiet der Energieeffizienz und der solaren Prozesswärme zu animieren, ihr Wissen in die Datenbank einzuarbeiten. Nur durch eine kontinuierliche Betreuung der Matrix kann die Qualität und Aktualität dieser Serviceleistung gewährt werden.

Durch eine auszuarbeitende Verbreitungsstrategie sollte es das Ziel sein, die Matrix einer breiteren Öffentlichkeit bekannt zu machen oder auch gegebenenfalls mit anderen bestehenden Plattformen zusammen zu schließen bzw. zu integrieren. In einer gewissen Form passiert diese Integration bereits in dem IEE Projekt EINSTEIN II, bei dem die Datenbank in die Energie Audit Methode und die Software integriert ist.

### AP 3: Solare Integration

#### Teil 1: Stagnationskühler

Wenn häufige Stagnationsvorgänge erwartet werden können, so wie es bei thermischen Solaranlagen für industrielle Prozesswärme der Fall sein kann, dann stellt der vorgestellte Stagnationskühler eine geeignete Lösung zur weitgehend wartungsfreien und hilfsenergiefreien Beherrschung des Stagnationsvorganges dar. Die Anlagengrößen können sich dabei aus heutiger Sicht, beginnend bei etwa 100 m<sup>2</sup>, bis zu den größten derzeit praktisch realisierten Kollektorflächen von einigen tausend m<sup>2</sup> erstrecken. Bei der Detailplanung des Solarkreises ist auf diese Art der Stagnationsbeherrschung gezielt Rücksicht zu nehmen.

Es ist zu empfehlen, dieses Prinzip im Rahmen von Folgeprojekten bereits bei der Auslegung geeigneter Anlagen zu berücksichtigen und auch weiter messtechnisch in der langzeitlichen Praxis zu verfolgen und auch kostenmäßig den bisherigen Standardlösungen mit deren im Vergleich hohem Wartungsaufwand gegenüberzustellen.

### Teil 2: Solar Kalkulationstool

Die Systembetrachtung - Solar und Prozesswärme - in einem Wirtschaftlichkeitstool ist ein völlig neuer, innovativer Ansatz, der zum ersten Mal realisiert wurde. Das Tool wird künftig zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit bei der Fa. S.O.L.I.D. eingesetzt werden und kann auch ein gutes Werkzeug für andere Solaranbieter sein.

### AP 4: Solares Businessmodell

Bisher gab es für Kunden, Solartechnikfirmen und Energiedienstleister (Contractinganbieter) kein Tool für die Errechnung des wirtschaftlichen Nutzens von Prozesswärme. Das entwickelte Tool wird in planerischer Anwendung eine enorme Arbeitserleichterung mit Zeitsparpotential für die anwendenden Zielgruppen darstellen.

### AP 5: Fallbeispiele in drei Firmen im Bereich der Oberflächenbehandlung

Das im Zuge der ersten beschriebenen Fallstudie entwickelte Konzept zur Steigerung der Energieeffizienz und Integration einer thermischen Solaranlage wurde der Firma präsentiert und begeistert aufgenommen. Die praktische Umsetzung dieses Gesamtkonzeptes soll im Zuge von zwei Folgeprojekten durchgeführt werden.

## 4 Literaturverzeichnis

[1] Hausner, R.; Fink, C.; Wagner, W.; Riva, R.; Hillerns, F. (2003): Entwicklung von thermischen Solarsystemen mit unproblematischem Stagnationsverhalten. Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 9/2003. Wien: BMVIT.

Bezug: [www.energytech.at/hdz\\_pdf/endbericht\\_fink\\_id1804.pdf](http://www.energytech.at/hdz_pdf/endbericht_fink_id1804.pdf)

## 5 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

<i>Abbildung 1: Die Benutzeroberfläche der Matrix im "Wikiweb" .....</i>	13
<i>Abbildung 2: Prototyp des Stagnationskühlers und Prinzipschema der Einbindung des Kühlers in die solare Großanlage .....</i>	16
<i>Abbildung 3: Messbeispiel eines Stagnationsvorganges bei einer Strahlungsleistung von etwa 960 bis 990 W/m<sup>2</sup>. Die Pumpe des primären Solarkreises wurde um 11:53 abgeschaltet. Bezeichnungsbeispiele: T 82cm – Temperatur Kühlwasser beim Niveau 82 cm (Abbildung 2), T Dampfrohr – Temperatur des Zulaufrohrs unmittelbar vor dem Kühler .....</i>	17
<i>Tabelle 1: Einsparpotential Assmann Ladenbau .....</i>	22
<i>Tabelle 2: Investitionskosten der vorgeschlagenen Maßnahmen .....</i>	22
<i>Tabelle 3: Investitionskosten und Amortisationszeit .....</i>	23
<i>Tabelle 4: Abwärmequellen Griffner Pulverbeschichtung .....</i>	24
<i>Tabelle 5: Investitionskosten, Amortisationszeit und CO<sub>2</sub> Einsparung des Gesamtkonzeptes...</i>	25

## IMPRESSUM

### **Verfasser**

JOANNEUM RESEARCH  
Forschungsgesellschaft mbH  
Leonardstraße 59, 8010 Graz

Rudolf Stiglbrunner  
Christoph Brunner  
Eva-Maria Heigl,  
Bettina Muster-Slawitsch

S.O.L.I.D. GmbH  
Sabine Putz

AEE Intec  
Robert Hausner

### **Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber**

Klima- und Energiefonds  
Gumpendorfer Straße 5/22  
1060 Wien  
office@klimafonds.gv.at  
www.klimafonds.gv.at

### **Disclaimer**

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

### **Gestaltung des Deckblattes**

ZS communication + art GmbH