

Solare Prozesswärme für Industrie, Meerwasserentsalzung und Solarchemie

Klaus Hennecke
DLR
Klaus.Hennecke@dlr.de

Dr. Ahmet Lokurlu
SOLITEM GmbH
a.lokurlu@solitem.de

Matthias Rommel
Fraunhofer ISE
matthias.rommel@ise.fraunhofer.de

Frank Späte
Solar-Institut Jülich -
Fachhochschule Aachen
spaete@sij.fh-aachen.de

Einführung

Der Prozesswärmebedarf für Industrie und Gewerbe macht einen erheblichen Anteil des Energieverbrauchs in Industrialisierten Länder aus. In Deutschland werden in diesem Bereich pro Jahr knapp 2000 PJ eingesetzt, das entspricht rund 20 % des gesamten Endenergiebedarfs. Rund 30 % dieses Bedarfs fällt im Temperaturbereich unterhalb 200 °C an, für den geeignete Solarkollektoren kurz- bis mittelfristig verfügbar sind.

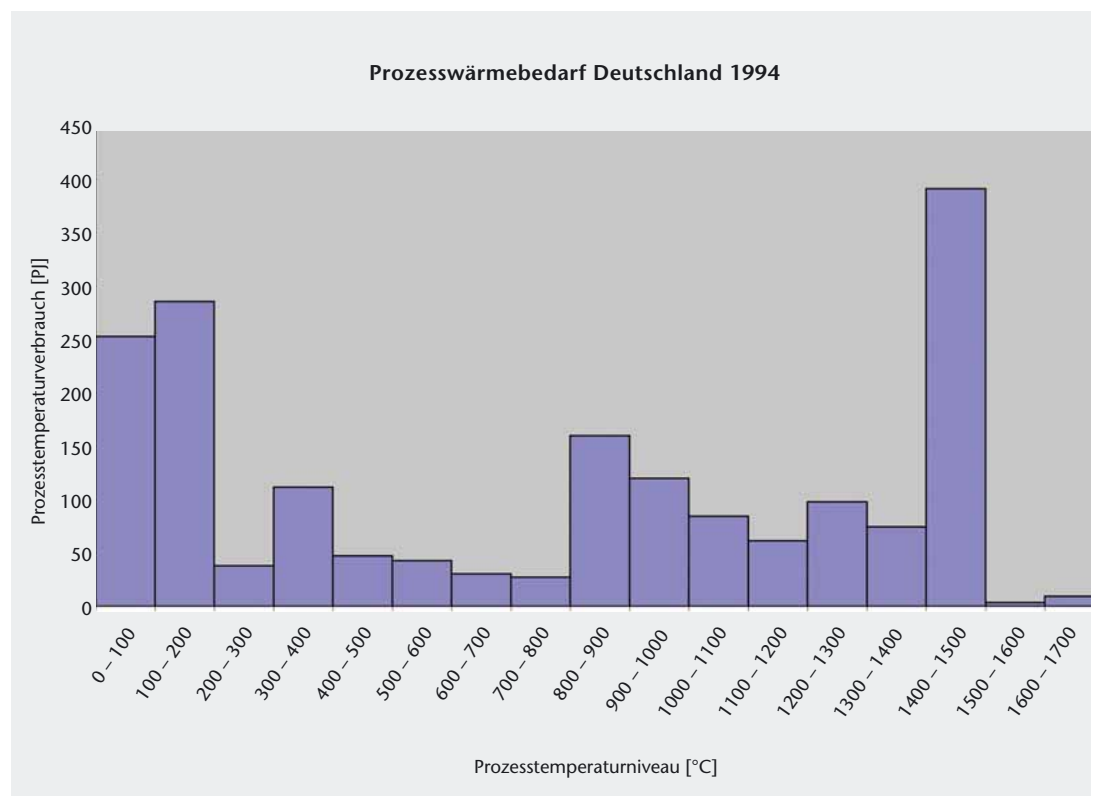
Verbrauchsschwerpunkte liegen in den folgenden Branchen und Prozessen:

- Nahrungs- und Genussmittelindustrie (z. B. Koch- und Eindampfprozesse)
- Chemische Industrie

- Zellstoff- und Papierindustrie (Kochen, Trocknen)
- Textilindustrie (Färben, Auswaschen, Trocknen)
- Investitionsgüterindustrie (z. B. Reinigungsbäder, Lackierkabinen, Lacktrockner)
- Dienstleistungen (z. B. Wäschereien)

Wollte man innerhalb der nächsten 20 Jahre nur 10 % dieses Bedarfs solar decken, müssten zu diesem Zweck jährlich rund 1,4 Mio m² Kollektorfläche installiert werden. Zum Vergleich: Im bisherigen Spitzenjahr 2001 wurden in Deutschland für Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung 900.000 m² Kollektorfläche neu installiert. Offensichtlich besteht also ein großes Marktpotenzial, dennoch wurden bisher nur wenige Anwendungen realisiert.

Abbildung 1
Industrieller Prozesswärmebedarf in Deutschland (1994, eigene Darstellung nach [1])



Prozesswärme für die Industrie

Offenbar ist der Markt für solare Prozesswärme nicht einfach. Da Wärme nicht verlustarm über weite Strecken transportiert werden kann, sind nur solche Standorte geeignet, bei denen sowohl günstige Einstrahlungsbedingungen, als auch genügend Flächen zur Aufstellung der Kollektoren vorhanden sind. Bei der Auslegung und Systemintegration eines Kollektorfeldes als Wärmeerzeuger haben die geforderten Prozesstemperaturen wesentlich stärkeren Einfluss als in konventionellen Anlagen. Grundsätzlich kann die Solarwärme in das Wärmeversorgungssystem des Anwenders, oder direkt in den jeweiligen Prozess eingekoppelt werden. Da aber der Wirkungsgrad von Sonnenkollektoren mit steigender Temperatur abnimmt, ist bei der Integration solarer Prozesswärme ein möglichst niedriges Temperaturniveau vorteilhaft. Gerade dort kann jedoch häufig auch Abwärme aus anderen Prozessen oder Kraft-Wärme-Kopplung genutzt werden. Um das optimale Temperaturniveau für den Einsatz solarer Wärme zu finden, ist deshalb der Einsatz von Prozessintegrationsmethoden empfehlenswert.

Eine weitere Herausforderung stellt die tages- und jahreszeitlich sowie wetterabhängig wechselhafte Verfügbarkeit der solaren Strahlung dar. Um Produktionsmängel oder -ausfälle zu vermeiden müssen Strahlungsschwankungen durch entsprechende Speichersysteme abgepuffert werden. In der Regel muss zur Überbrückung längerer strahlungsarmer Zeiten eine hundertprozentige, konventionelle Reservekapazität vorgehalten werden. Deshalb bringt die Investition in die Solaranlage keine Reduktion des konventionellen Anlagenteils mit sich und die Anlage muss sich allein durch die erzielten Brennstoffeinsparungen amortisieren. Dies stellt bei heutigen Brennstoffpreisen eine Hürde für die Wirtschaftlichkeit solcher Investitionen dar. Um hohe Brennstoffeinsparungen erzielen zu können, sind hohe solare Deckungsgrade anzustreben. Vorzugsweise sollten Wärmebedarf und solares Angebot zeitlich korrelieren. Dies ist häufig bei Kühlung oder Klimatisierung der Fall, sowie bei Anwendern mit reinem Tagesbetrieb.

Schon diese kurzen Überlegungen verdeutlichen, dass es die "typische" Prozesswärmanwendung nicht gibt. Vielmehr sind individuelle Lösungen gefragt, die auf Anlagengröße, Bedarfsprofil, Wärmeträgermedium und Temperaturniveau der jeweiligen Prozesse abgestimmt sind. Der damit verbundene Beratungs- und Planungsaufwand bedeutet eine erhebliche Herausforderung für die Markterschließung. Um diese Herausforderung anzunehmen und zu meistern, wurde eine IEA Task (33/IV) gegründet. In dieser seit zwei Jahren laufenden Kooperation der internationalen Energieagentur (IEA) arbeiten Experten aus neun Ländern zusammen. Weitere Informationen finden sich unter <http://www.iea-ship.org>.

Eines der wenigen realisierten Beispiele einer solaren Prozesswärmeversorgung in Deutschland ist die 100 Quadratmeter große Vakuumröhren-Kollektoranlage der Schiffer GmbH & Co KG in Menden im Sauerland. Die mit den Mitteln aus dem REN-Programm des Landes Nordrhein-Westfalen geförderte Anlage wurde im Oktober 2003 in Betrieb genommen und dient zur Beheizung galvanischer Bäder (*Abb. 2*). Die Temperaturen dieser Bäder liegen zwischen 40 und 70 Grad Celsius. Geplant und errichtet wurde die Anlage von der Firma SOTEC solar aus Plettenberg.

Ein Beispiel für die solare Wärme-, Kälte- und Dampfversorgung ist die auf einem türkischen Hotel in Dalaman installierte Pilotanlage der Firma SOLITEM aus Aachen (*Abb. 3*). Das mehrfach preisgekrönte Anlagenkonzept (R.I.O. Innovationspreis, Energy Globe Award, Global 100 Eco-Tech Award und Solarpreis 2005 von EUROSOLAR) stellt mit 20 Parabolrinnenkollektoren thermische Leistungen bis zu 100 KW im reinen Dampfversorgungsbetrieb oder Kälteleistungen bis zu 130 KW zur Verfügung. Beide Versorgungsbereiche sind auch im Teillastbetrieb möglich. Durch den bivalenten Betrieb der Anlage werden im Sommer die Prozesswärmeverbraucher oder die den Kühlkreislauf speisende zweistufige Absorptionskältemaschine mit Dampf versorgt und im Winter beheizen die Kollektoren die Räume und unterstützen damit mit solarer Energie die fossile Dampferzeugung. [3]

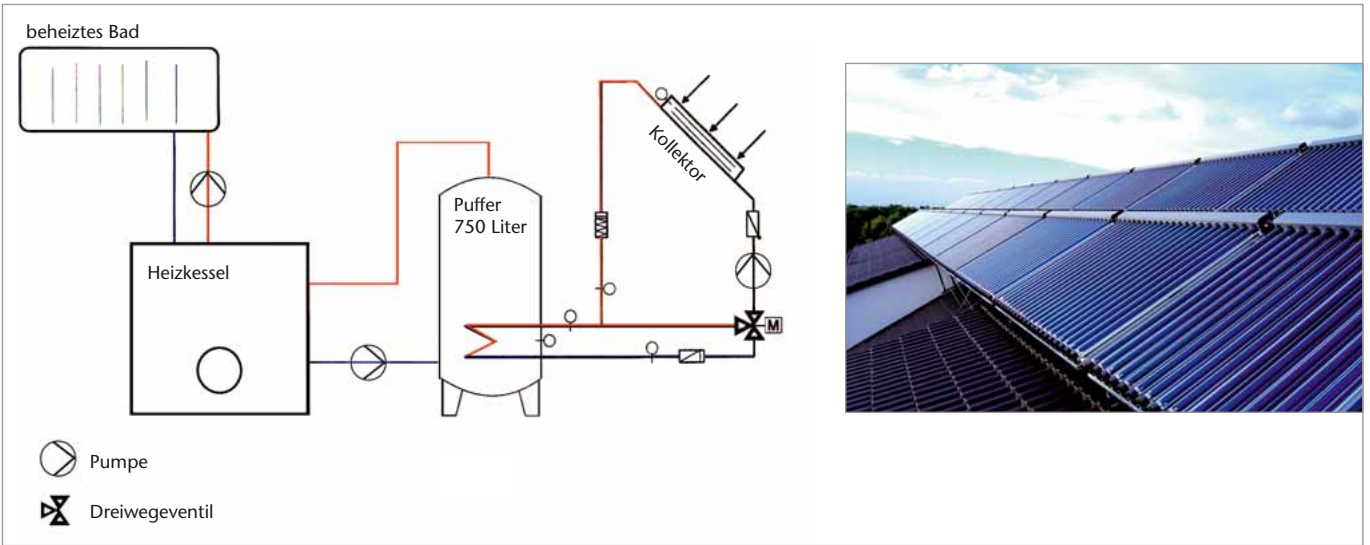
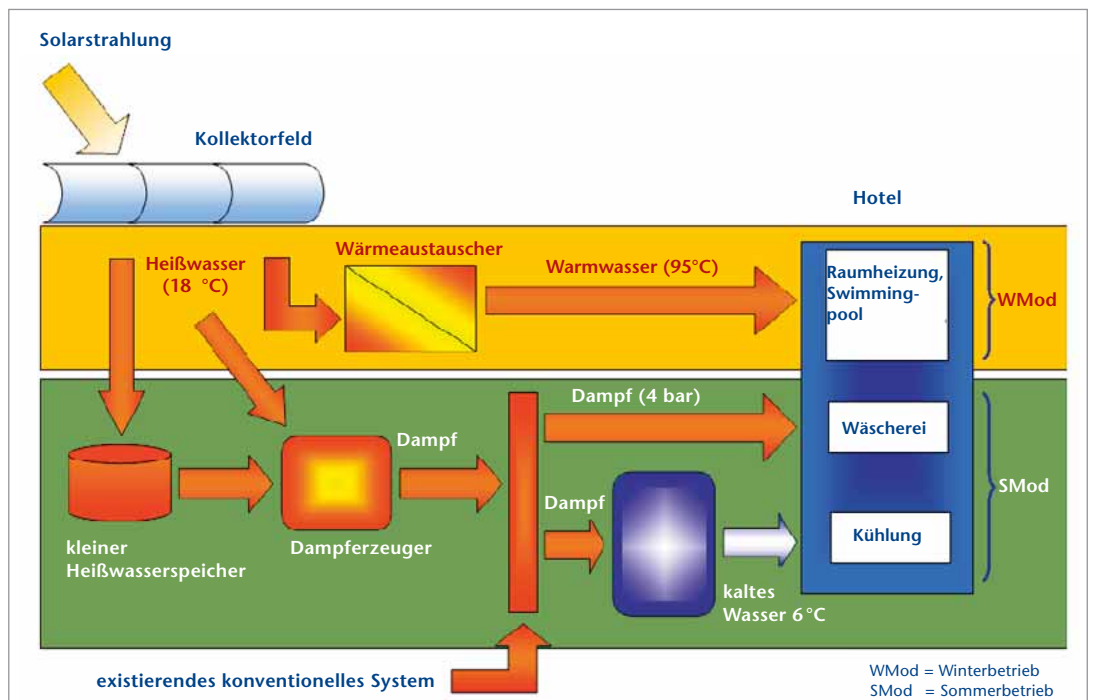


Abbildung 2 ↑
Anlagenschema
und Kollektorfeld
zur Beheizung
galvanischer Bäder
bei Fa. Schiffer
GmbH & Co KG

Quelle: EA-NRW

Abbildung 3 →
Schema und
Kollektorfeld zur
Wärme-, Dampf-
und Kälteversorgung
eines Hotels an der
türkischen Ägäisküste
in Dalaman

Quelle: SOLITEM GmbH





Ein weiteres vom Land NRW unterstütztes Projekt betrifft eine Großbäckerei in Burkina Faso. Dort wird zur Herstellung von rund 1000 Baguettes pro Tag heiße Luft bei über 250 °C mit einer Leistung von 20 bis 40 kW benötigt. Für diese beim Solar-Institut Jülich entwickelte Anlage (Abb. 4) wird Luft als Wärmeträger verwendet. Als Konzentratoren dienen 16 so genannte „Scheffler Spiegel“, die sich bereits in vielen Anwendungen in Entwicklungsländern bewährt haben. Jeder Spiegel bündelt das Sonnenlicht auf einen ortsfesten Brennfleck von rund 30 cm Durchmesser. Dort befindet sich ein eigens für diese Anwendung entwickelter Receiver, der die konzentrierte Strahlung absorbiert und die Wärme über eine große Oberfläche an die vorbeiströmende Luft abgibt. Die heiße Luft wird über einen Luft-Luft-Wärmetauscher im geschlossenen Kreislauf geführt, um die hohe Rücklauftemperatur des Backofens nutzen zu können.

Ein häufig verwendeter Wärmeträger in industriellen Prozessen ist Dampf. Im Rahmen einer von der AG Solar NRW geförderten Studie untersuchten DLR und YTONG AG am Beispiel der Porenbetonherstellung, ob die für solarthermische Kraftwerke entwickelte Technologie der direkten Dampferzeugung in Parabolrinnen auf industrielle Anwendungen übertragen werden kann (Abb. 5).

Der wesentliche Dampf verbrauchende Prozessschritt ist die Härtung des Materials im Autoklaven. Üblicherweise werden mehrere Autoklaven zeitlich versetzt betrieben, und Dampfspeicher zur teilweisen Wärmerückgewinnung und zum Lastmanagement eingesetzt. Diese Speicher bieten eine gute Möglichkeit zur Einkopplung solar erzeugten Dampfes, ohne den Fertigungsprozess durch schwankende Solarstrahlung zu gefährden. Das Dach einer typischen Fertigungshalle könnte Platz für ein Kollektorfeld mit etwa 5 % der Nennleistung der installierten konventionellen Kessel bieten. An günstigen Standorten im Mittelmeerraum könnten etwa 10 % des jährlichen Dampfbedarfs solar gedeckt werden bei Kosten, die im Bereich der konventionellen Erzeugungskosten liegen.

Aufgrund dieses ermutigenden Ergebnisses wurde die Versuchsanlage am DLR-Standort Köln-Porz mit rund 80 kW Leistung für die direkte Dampferzeugung umgerüstet, um die theoretisch erarbeiteten Verfahrensgrundlagen auch in dem für Prozessdampferzeugung relevanten Druck- und Temperaturbereich experimentell abzusichern. Nach Abschluss und Auswertung der noch laufenden Versuchskampagne werden Anwender zur Realisierung einer ersten Pilotanlage gesucht.

Prozesswärme für Meerwasserentsalzung

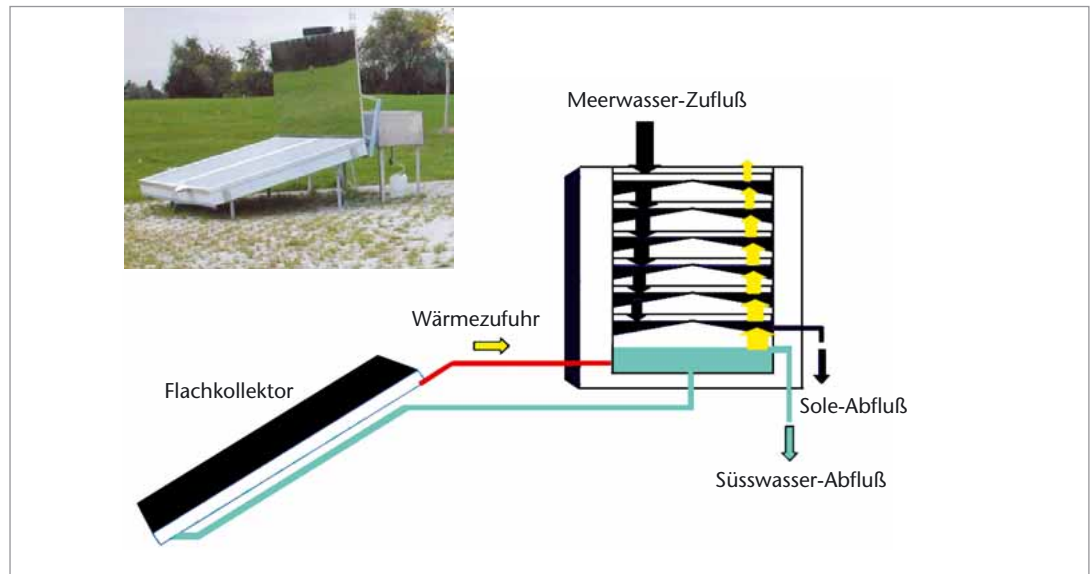
Ein Sonderfall der Prozesswärmenutzung ist die Meerwasserentsalzung. Der weltweit steigende Wasserbedarf lässt hier einen enorm wachsenden Markt vermuten. Ein Grundproblem der thermischen Meerwasserentsalzung besteht darin, dass die bei der Destillation erforderliche Verdampfung von Wasser sehr energieaufwändig ist.

Abbildung 4
Solar unterstützte
Großbäckerei in
Burkina Faso

Abbildung 5
Parabolrinnenanlage
des DLR zur direkten
Prozessdampf-
erzeugung



Abbildung 6
Wasserentsalzung durch Mehrstufenverdampfung, Schema und Testanlage des Solarinstitut Jülich



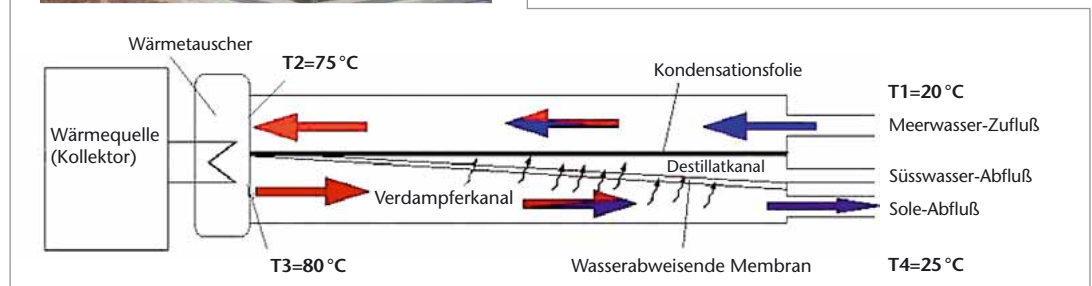
Deshalb werden mehrstufige Verfahren angewendet, bei denen ein großer Anteil der Verdampfungswärme in der jeweils nachfolgenden Stufe zurück gewonnen wird.

Bei dem am Solar-Institut Jülich entwickelten System für kleine Tagesleistungen sind mehrere Verdampfungswannen übereinander angeordnet (Abb. 6). Die unterste Stufe der Entsalzungsanlage dient gleichzeitig als erste Stufe der Verdampferkolonne und als Auffangbecken für das Destillat. Die Solarwärme wird dieser untersten Stufe zugeführt. Der aufsteigende Dampf kondensiert an der Unterseite der

darüber liegenden Wanne. Dort entsteht aufgrund der Kondensationswärme erneut Dampf, der wiederum an der nächsthöheren Stufe kondensiert, usw. Dieses Anlagenkonzept wird zur Zeit mit verschiedenen Kollektortypen getestet.

Auch bei dem am Fraunhofer ISE entwickelten Konzept der Membrandestillation wird der spezifische Energiebedarf durch interne Wärmerückgewinnung gesenkt. Bei diesem Verfahren wird die erwärmte Sole entlang einer Wasser abweisenden, porösen Polymermembran geführt. Wassermoleküle in Form von Dampf durchdringen diese Membran und werden auf der anderen Seite kondensiert. Die Kondensationswärme dient wiederum zur Vorwärmung der zugeführten Sole. Im Rahmen eines von der EU geförderten Projektes werden zur Zeit Kompaktsysteme in Ägypten, Jordanien und Marokko mit einer Entsalzungsleistung von ca. 100 Litern pro Tag getestet. Die Abb. 6 zeigt eine Anlage in Gran Canaria. Die Hauptkomponenten dieser Anlagen sind das Membrandestillationsmodul,

Abbildung 7
Wasserentsalzung durch Membrandestillation, Funktionsprinzip und Kompaktsystem des Fraunhofer ISE



ein 6 m² Solarkollektor, eine salzwasserbeständige Pumpe und ein Photovoltaikmodul, das einen autarken Betrieb der Anlage ermöglicht. Zwei größere Anlagen mit Kollektorflächen von 80 m² werden bis März 2006 in Jordanien und Gran Canaria in Betrieb genommen werden.

Prozesswärme für die Solarchemie

Die solare Bereitstellung von Hochtemperaturwärme für thermische und chemische Prozesse ist das Ziel längerfristig angelegter Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Ein mit Unterstützung der AG Solar NRW untersuchtes Beispiel für eine mögliche zukünftige Anwendung ist das solare Recycling von Aluminium. Der konventionelle Prozess in gasbefeuerten Drehrohröfen erfordert neben dem erheblichen Einsatz fossiler Energie auch eine aufwändige Abgasnachbehandlung zur Beseitigung der beim Aufschmelzen des verunreinigten Schrottes entstehenden Schadstoffe. Bei direkter Beheizung des Schmelzofens mit konzentrierter Solarstrahlung werden weder Brennstoff noch Verbrennungsluft benötigt. Dies reduziert den Abgasvolumenstrom und damit die Kosten der Nachbehandlungsanlage erheblich. Neben der Betriebskostensenkung durch Brennstoffeinsparung besteht hier also das Potenzial, auch Investitionskosten zu reduzieren und damit die Aussichten auf Wirtschaftlichkeit der solaren Variante zu erhöhen.

Dieses Verfahren wurde am DLR Sonnenofen in Köln Porz im Technikumsmaßstab erfolgreich demonstriert. In dieser Versuchsanlage reflektiert ein 57 m² großer Heliostat das direkte Sonnenlicht auf einen feststehenden Konzentrator, in dessen Fokalbereich von etwa 13 cm Durchmesser eine Konzentration von bis zu 5000 Sonnen und eine Gesamtstrahlungsleistung von über 20 kW erreicht werden kann. Mit dem im Fokus positionierten Drehtrommelofen wurden täglich mehrere Chargen von je ca. 1 kg Aluminium aufgeschmolzen.

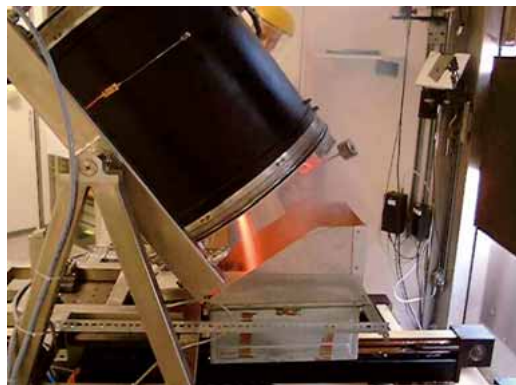


Abbildung 8
Solares Aluminiumrecycling:
Oben: Sonnenofen mit Heliostat und Konzentrator.
Mitte: Drehrohrföfen.
Unten: Abgießen der Schmelze

Quelle: DLR

Zusammenfassung

Die Beispiele zeigen, dass solare Prozesswärmeerzeugung wichtige Beiträge zu Klimaschutz und Ressourcenschonung liefern kann. Im Temperaturbereich bis etwa 200°C sind marktnahe Technologien kurz- bis mittelfristig verfügbar. Einer weiten Verbreitung stehen immer noch niedrige fossile Brennstoffkosten sowie ein hoher Beratungs- und Planungsaufwand entgegen. Hier ist an die Politik zu appellieren, durch angepasste Förderprogramme die Markterschließung zu erleichtern. Langfristig besteht weiterhin Forschungsbedarf insbesondere im Bereich Hochtemperaturanwendungen und Solarchemie.

Literatur

- [1] Mauch, W.; Schaefer, H: Strukturen des Wärmebedarfs in Industrie und Gewerbe, VDI Tagungsband „Wirtschaftliche Wärmenutzung in Industrie und Gewerbe“, Braunschweig 1997
- [2] Schweiger, H.; Farinha Mendes, J.; Benz, N.; Hennecke, K.; Prieto, G.; Cusi, M.; Goncalves, H.: The Potential of Solar Heat for Industrial Processes, Proc. EuroSun 2000, Kopenhagen
- [3] Lokurlu, A. , Richarts, F., Krüger, D.: Highly efficient Utilisation of Solar Energy with newly developed Parabolic Trough Collectors (SOLITEM PTC) for Chilling and Steam Production in a Hotel at the Mediterranean Coast of Turkey. International Journal of Energy Technology and Policy (IJETP), Volume 3, Issue 1/2. Inderscience, 2005.
- [4] Kötter, J.; Müller, C.; Schwarzer, K.: Solare Großbäckerei in Burkina Faso, Erneuerbare Energien Ausgabe 11/04 S.54-55 , Hannover 2004
- [5] Hennecke, K.; Kötter, J.; Michel, o.; Peric, D.: Solar Process Steam Generation for the Production of Porous Concrete, Proc. 11th Int. Symposium on Solar Power and Chemical Energy Systems, Zürich 2002
- [6] Müller, C.; Schwarzer, K.: Solar Thermal Desalination Systems with Multi-Stage Heat Recovery, Proc. Eurosun 2004, Freiburg
- [7] Rommel, M.; Koschikowski, J.; Wieghaus, M.: Thermally driven Desalination Plants based on Membrane Distillation, Proc. Int. Conference 'RES for Island – Tourism & Water', Kreta 2003
- [8] Glasmacher-Remberg, C.; Roeb, M.; Dersch, J.; Schäfer, R.; Funken, K.-H.: Solar Thermal Recycling of Aluminium, Proc. 6th Int. Secondary Aluminium Congress, Cannes 2001.