

Neue Entwicklungen im Bereich der solaren Kühlung

Dr. Uli Jakob, SolarNext AG
Nordstrasse 10, 83253 Rimsting, Deutschland
uli.jakob@solarnext.de www.solarnext.de

Abstrakt

In den letzten Jahren wurden speziell in Europa viele neue Sorptionskältemaschinen im kleinen Leistungsbereich entwickelt. Viele dieser Absorptions- und Adsorptionskältemaschinen sind nun aus dem Prototypentwicklungsstadium in den Feldtest und die Produktion übergegangen, so dass in den nächsten Jahren vermehrt Produkte zu erwarten sind. In vielen Demonstrationsprojekten in Europa werden Betriebserfahrungen im kleinen bis großen Leistungsbereich gesammelt. Dadurch werden die Regelstrategien verbessert und die Planung der Systeme erleichtert. Das Marktpotential für Solar Kühlung im kleinen Leistungsbereich ist sehr groß, so dass von verschiedenen Firmen Solar Cooling Kits für das Produktgeschäft entwickelt werden. Eine ganzjährige Energienutzung der erneuerbaren Energiequellen zur Warmwasserbereitung, Heizungsunterstützung und solaren Kühlung ist dabei unabdingbar. Zum Vergleich die Absatzzahlen bei der konventionellen Klimatisierung, vor allem von kleinen Mini-Splittgeräten, steigen rasant an. Die japanische Refrigeration and Air Conditioning Industry Association (JRAIA) gibt für den kleinen Leistungsbereich bis 4 kW für Wohn- sowie Verwaltungsgebäude einen weltweiten Absatz von 62,97 Millionen Geräten im Jahr 2006 an, davon 5,38 Millionen in Europa [1]. Für das Jahr 2008 wird ein Anstieg auf 68,65 Millionen Geräten weltweit bzw. 6,12 Millionen in Europa prognostiziert. Im Wohnungsbau ist die Marktdurchdringung von Kältemaschinen in Europa mit etwa 2% der Haushalte sehr gering verglichen mit 70% aller Haushalte in Japan und 55% in den USA.

Schlüsselwörter: Solare Kühlung, Sorptionskälte, Solar Cooling Kits, Marktpotential

1. Einleitung

Der Energiebedarf für Klimatisierung steigt in Europa und weltweit. Thermische Kühlung mit Solarthermie oder Biomasse kann zu einer deutlichen Reduktion des Energieverbrauchs und der CO₂ Emissionen führen. Allerdings können die niedrigen Leistungszahlen der einstufigen Absorptions- und Adsorptionskältemaschinen schnell zu hohen Primärenergieverbräuchen führen, wenn mit nicht erneuerbaren Energieträgern nachgeheizt werden kann. Deshalb muss vor allem bei einstufigen Sorptionskältemaschinen der solare Deckungsgrad hoch sein (größer 70%) oder besser ein vollständiges solares Heizsystem vorliegen. Um die Anlagen wirtschaftlich betreiben zu können, müssen die zusätzlichen Investitionskosten der thermischen Kältetechnik noch reduziert werden, was bei höheren Stückzahlen durchaus zu erwarten ist. Bei einem generellen Trend zu größeren solarthermischen Anlagen bieten dann kleine thermische Kältemaschinen gute Möglichkeiten, sommerliche Wärme effizient zu nutzen. In den nächsten Jahren können daher vermehrt Solar Cooling Kits im kleinen Leistungsbereich auf dem Markt erwartet werden.

2. Solare Kühlungstechnologien

Die Technologie der solaren Kühlung wird seit einigen Jahrzehnten schon eingesetzt, aber es gibt bisher wenig kommerziell erhältliche Solare Kühlung Kits. Die solarthermisch betriebenen Kühlverfahren lassen sich grundsätzlich in zwei Hauptgruppen einteilen, die geschlossenen Systeme zur Kaltwassererzeugung und die offenen Systeme zur Klimatisierung der Luft [2]. Für die marktgängigen Kühlverfahren sind in der Tabelle 1 die verwendeten Arbeitsstoffpaare, Kälte-träger, Temperatur- und Kälteleistungsbereiche sowie Leistungszahlen (COP = Coefficient of Performance, definiert das Verhältnis von Kälteleistung zu eingesetzter Heizleistung) aufgelistet.

Tabelle : Marktgängige solarthermische Kälte- und Klimatisierungsverfahren

Technologie	Absorption			Adsorption	DEC
	einstufig	zweistufig	einstufig		
Kältemittel	Wasser	Wasser	Ammoniak	Wasser	–
Sorptionsmittel	Lithium-bromid	Lithium-bromid	Wasser	Silikagel	Silikagel od. Lithium-chlorid
Kälte-träger	Wasser	Wasser	Wasser-Glykol	Wasser	Luft
Kälte-temperaturbereich [°C]	6 – 20	6 – 20	-30 – +20	6 – 20	16 – 20
Heiztemperaturbereich [°C]	70 – 90	130 – 160	80 – 180	55 – 100	55 – 100
Kühlwassertemperatur [°C]	25 – 40	25 – 40	25 – 50	25 – 35	nicht erforderlich
Kälteleistungs-bereich [kW]	5 – 20.500	170 – 23.300	10 – 1.000	5 – 350	6 – 300
Leistungszahl (COP) [-]	0,6 – 0,7	1,1 – 1,4	0,5 – 0,6	0,6 – 0,7	0,5 – 1,0

3. Neue Entwicklungen und Erfahrungen

3.1 Absorptionskälte

Absorptionskältemaschine im mittleren und großen Leistungsbereich (> 35 kW) werden seit Jahren in solaren Kühlprojekten eingesetzt. Im kleinen Leistungsbereich unter 20 kW sind hingegen bisher nur wenige Absorber verfügbar. Für die solarthermischen Anlagen werden sowohl effiziente Flachkollektoren oder Vakuumröhren verwendet.



Die Firma Yazaki aus Japan bietet seit 1977 Wasser/Lithiumbromid Absorptionskältemaschinen mit 35, 70 und 105 kW Kälteleistung an [3], wobei die 35 kW Maschine die bisher weltweit am meisten verwendete Absorptionskältemaschine für solare Kühlungsprojekte ist (Bild links). Zukünftig soll eine 17,5 kW Maschine angeboten werden. Weitere Wasser/LiBr Absorber mit 15 kW bis 200 kW Kälteleistung bietet die Firma EAW Westenfeld an, wobei die beiden kleinsten Kältemaschine (15 kW und 30 kW) seit Mai 2007 exklusiv von Schüco vertrieben werden [4]. Diese Absorptionskältemaschinen erzielen im Auslegungszustand von 15°C Verdampfertemperatur, 32°C Rückkühltemperatur und 90°C Heißwassertemperatur eine Leistungs-

zahl von 0,75. Soll die Rückkühlung trocken erfolgen, so dass Temperaturen bis zu 40°C entstehen können, dann kann dies über eine Generatortemperaturerhebung auf 100°C kompensiert werden. Niedrige Generatortemperaturen zwischen 70 und 80°C sind möglich bei entsprechend reduzierter Kälteleistung [5].

Die Firma Sonnenklima aus Berlin führt Feldtests an verschiedenen europäischen Standorten mit einer 10 kW Lithiumbromidanlage mit guten Leistungszahlen und niedrigen Antriebstemperaturen von 75°C (bei gleichzeitig hohen Verdampfeintrittstemperaturen von 18°C) durch [6]. Die Markteinführung ist für 2010 geplant.

Eine weitere LiBr Maschine kleiner Kälteleistung wird seit einigen Jahren von der Firma Rotartica in Spanien entwickelt und in Feldtests analysiert. Mit gemessenen 4,2 bis 5,1 kW Kälteleistung werden Leistungszahlen um 0,42 erzielt, wobei durch den eingesetzten rotierenden Absorber mit trockener Rückkühlung gearbeitet werden kann – ein wichtiger Vorteil bei kleinen Installationen [7]. Die Firma ABAKUS aus Halle hat eine Wasser/LiBr Absorptionskältemaschine entwickelt, welche ohne eine mechanische Lösungspumpe auskommt, da eine Thermosiphonpumpe verwendet wird. Die Kälteleistung beträgt 3-4,5 kW und die Antriebstemperaturen sind im Bereich von 85 bis 100°C [8].

Während für die Vermeidung von Kristallisation in konventionellen Absorptionskältemaschinen ein hoher Aufwand getrieben wird, nutzt die Firma ClimatWell AB aus Schweden genau dieses Prinzip der Kristallisation von hochkonzentrierter LiBr Lösung zur Erhöhung der internen Speicherdichte. Um das Kältemittel Wasser komplett aus der Salzlösung auszutreiben und zwei Behälter mit Salzlösung auszukristallisieren, werden insgesamt 88 kWh Heizwärme benötigt. Erste Prototypen im Leistungsbereich 7-10 kW sind seit 2005 im Feldtest in Spanien [9].



Die Firma SolarNext vertreibt seit Ende 2006 exklusiv eine Ammoniak/Wasser Absorptionskältemaschine, den chillii® PSC (Bild links), der Firma Pink aus Österreich, welche eine neuentwickelte Membranpumpe verwendet. Diese Kältemaschine gibt es in drei Leistungsbereichen: 5, 10 und 20 kW Kälteleistung. Die Antriebstemperaturen sind je nach Kaltwassertemperatur und Rückkühlmöglichkeit (Nasskühlturm oder Trockenrückkühler) im Bereich von 75 bis 85°C. Die Leistungszahlen bewegen sich für die Auslegungszustände zwischen 0,6 und 0,65 [10]. Die Firma Helioplus aus Österreich entwickelt derzeit mit der TU Graz eine Ammoniak/Wasser Absorptionswärmepumpe/-kältemaschine mit 5 kW Kälteleistung [11]. Vom ITW der Universität Stuttgart wird ebenfalls eine Ammoniak/Wasser Absorptionskälteanlage mit 10 kW maximaler Kälteleistung

weiterentwickelt. Die Beförderung der Lösung auf den hohen erforderlichen Druck erfolgt mit einer Membranpumpe [12]. Zwei direkt luftgekühlte Ammoniak/Wasser Absorptionskältemaschinen von der Robur aus Italien mit 17 kW und Aosol aus Portugal mit 6 kW Kälteleistung werden für den südeuropäischen Markt entwickelt. Eine weitere NH₃/H₂O Absorptionskälteanlage die ohne mechanische Lösungspumpe auskommt, ist die am zafh.net der HfT Stuttgart entwickelte Diffusions-Absorptionskältemaschine (DAKM) mit 3,0 kW Kälteleistung [13].

3.2 Adsorptionskälte

Ein Problem der geschlossenen Adsorptionsanlagen ist der schlechte Wärmetransport zwischen Feststoff-Adsorbent, wie z.B. Packungen um einen Wärmetauscher und dem flüssigen Wärmeträger. Erst durch die Beschichtung von Wärmetauschern mit Adsorptionsmaterialien erlaubt die Konstruktion von Adsorptionskältemaschinen mit sehr kurzen Zyklusdauern im Minutenbereich.



Die SorTech AG aus Halle hat eine Anlage mit 5,5 kW Kälteleistung entwickelt, welche von der SolarNext, CitrinSolar, Solution und Solvis vertrieben wird. Die Adsorptionskältemaschine (Bild links) erzielt bei Antriebstemperaturen von 75/67°C und Kühlwassertemperaturen von 27/33°C (Nasskühlturm) Kaltwasser mit 18/15°C und einen COP von 0,53. Wird ein Trockenkühler (33/38°C) verwendet, dann sind Antriebstemperaturen von 85/77°C notwendig. Seit 2007 werden erste Feldtests mit dem chillii® STC durchgeführt [14].



An der Shanghai Jiao Tong University in China wurde eine 10 kW Wasser/Silikagel Adsorber (Bild links) entwickelt, welcher von der chinesischen Firma Jiangsu Shuangliang Air Conditioner Equipments Co. hergestellt wird [15]. Die InvenSor GmbH aus Berlin hat eine Adsorptionskältemaschine mit Wasser/Silikagel entwickelt, wobei ein erster Prototyp mit einer Kälteleistung von 10 kW im August 2007 fertig gestellt wurde [16].

Grundsätzlich wird InvenSor zukünftig auch eine Wasser/Zeolith Adsorptionskältemaschine anbieten. Die Firma Vaillant hat hingegen mit der RWTH Aachen ein Wasser/Zeolith-Heizgerät mit 10 kW Heizleistung entwickelt. Die Firma Viessmann ist ebenfalls mit der Entwicklung einer Wasser/Zeolith Adsorptionswärmepumpe beschäftigt.

Größere Adsorptionsanlagen (> 70 kW) des japanischen Hersteller Mayekawa und der derzeit in Amerika produzierenden japanischen Firma Nishyodo laufen in verschiedenen Demonstrationsanlagen mit zuverlässigem Betrieb. Mittlere thermische Leistungszahlen von 43% eines 70 kW Adsorbers wurden am Uniklinikum Freiburg gemessen, wobei der solare Deckungsgrad der 171 m² Vakuumröhrenanlage aufgrund langer Laufzeiten nachts nur 28% jährlich erreicht [17].

3.3 Offene sorptionsgestützte Klimatisierung (DEC-Anlage)

Offene sorptionsgestützte Klimaanlage sind technisch ausgereift, nur die Regelungstechnik muss jeweils auf die projektspezifischen Anforderungen angepasst werden und sorgfältig geplant und ausgeführt werden [18, 19]. Wenige solarthermisch betriebene offene sorptionsgestützte Klimaanlage verfügen über eine detaillierte Messdatenerfassung und -auswertung.



DEC-Anlage auf dem Dach der Bibliothek in Mataró
(Quelle: zafh.net)

Die an der IHK Freiburg vermessene Sorptionsanlage mit 10.200 m³/h Volumenstrom und rein solarem Regenerationsbetrieb ergaben jährliche Kollektorerträge der Luftkollektoranlage von maximal 100 kWh/(m² a) [20]. Dieser geringe Ertrag ist vor allem durch die niedrige Laufzeit der Anlage verursacht, die für nur temporär genutzte Seminarräume verwendet wird. Die mittlere jährliche Leistungszahl liegt bei 0,43. In Mataró, Spanien (Bild 5) wird ein 105 m² großes Luftkollektorfeld mit vorgewärmter Warmluft einer hinterlüfteten Photovoltaikfassade (Volumenstrom 12.000 m³/h) zur Regeneration eines Silikagel-Sorptionsrotors genutzt, um eine Bibliothek zu klimatisieren. In dieser DEC-Anlage wird ein Nachkühler als Hilfsenergiequelle genutzt, die Regenerationsluftherhitzung erfolgt rein solar. Die gemessenen Leistungszahlen bei vollem Regenerationsbetrieb liegen hier zwischen 0,6-1,0 [21]. Vor allem die Wärmeüberträger erreichen nicht die vom Hersteller angegebenen Rückwärmzahlen.

3.4 Flüssigsorption

Erste positive Feldtests wurden mit Flüssigsorptionssystemen durchgeführt: mittlere thermische Leistungszahlen von knapp 1,1 wurden während der ersten Messphase 2005 eines Flüssigsorptionssystems der Firma Menerga erzielt [22].



Die Firma L-DCS installiert ein 350 kW großes Flüssigsorptionssystem in Singapur, basierend auf den Entwicklungsarbeiten am ZAE Bayern [23]. Auch in den USA werden Flüssigsorptionssysteme der Firma AIL Research (Bild links) in Zusammenarbeit mit der Queen's University, Kanada mit besonders geringen Durchflussmengen entwickelt und derzeit im Feldtest geprüft [24].

Verschiedene Forschungseinrichtungen arbeiten an der Realisierung von Flüssigsorptionsabsorbern und – Desorbern: das ZAE Bayern entwickelt und betreibt Flüssigsorptionsanlagen im Labor und der Praxis, die University of South Australia sowohl die Universität Kassel arbeitet an Regeneratoren/Absorbern mit Kunststoff-Plattenwärmetauschern und Baumwollmatten für die Verteilung der Flüssigkeit, das zafh.net Stuttgart entwickelt für den kleinen Leistungsbereich eine sensible Zuluftkühlung mit Flüssigsorptionstrocknung rein auf der Abluftseite [25].

4. Marktpotential

4.1 Konventionelle Klimatisierung

Die Absatzzahlen vor allem kleiner Mini-Splitltergerate steigt rasant: in Griechenland hat sich die Anzahl verkaufter Einheiten von 1996 bis 2000 auf 400.000 verdreifacht und der Stromverbrauch steigt jährlich um 3-4% [26]. Die prognostizierten weltweiten Absatzzahlen der japanische Refrigeration and Air Conditioning Industry Association (JRAIA) für Kältemaschinen im kleinen Leistungsbereich von 2-4 kW sind 68,65 Millionen Geräte für das Jahr 2008, davon 6,12 Millionen in Europa [1].

Elektrische Kompressionskältemaschinen haben im kleinen Leistungsbereich einen COP von knapp 3,0, beste Technik liefert heute Leistungszahlen von 5 bis 6. Die Splitltergerate mit etwa 70% Marktanteil haben luftgekühlt durchschnittliche Leistungszahlen von 2,5 und wassergekühlt von 2,75. Durchschnittliche Leistungszahlen aller elektrischen Klimaanlage in den USA liegen bei 2,93 [27]. Der Umwandlungswirkungsgrad von elektrischem Strom aus Primärenergie liegt bei etwa 35%. Durch Multiplikation des COP mit dem Umwandlungswirkungsgrad kann man die Primärenergie-Leistungszahl ermitteln. Sie besagt, wie viel kW Kälte man aus einer kW Primärenergie erzeugen kann. Je höher die Zahl, desto effizienter ist die Kalterzeugung. Elektrische Kompressionskältemaschinen liefern eine Primärenergie-Leistungszahl knapp unter 1,0 und bei Einsatz bester Technik maximal 2,0.

4.2 Solare Klimatisierung

Die ersten Anlagen des solaren Kühlens zur Raumklimatisierung wurden in Europa und den USA schon in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts unter anderem von den Firmen Dornier-Prinz Solartechnik GmbH [28,29] und Arkla Industries Inc., USA (heute Robur SpA, Italien) [30] entwickelt und in Demonstrationsprojekten verwirklicht. Aufgrund des mangelnden Absatzes wurde die Produktion dieser solaren Kühlsysteme eingestellt.

Auch heute sind solar betriebene Kältemaschinen noch nicht wirtschaftlich. Die solarthermische Anlage ist der größte Kostenfaktor, die Betriebs- und Wartungskosten der Kältemaschinen sind niedriger als bei konventionellen Anlagen, die Investitionskosten aufgrund der geringen Stückzahlen höher [30]. Allerdings liegen die Mehrkosten teilweise nur noch geringfügig über den Kosten einer konventionellen Anlage: für eine sorptionsgestützte Klimaanlage in einer Spritzgussfabrik in Althengstett wurden Mehrkosten von nur 6% ermittelt [31]. Aufgrund des hohen Kostenanteils der solarthermischen Anlage sind hohe Nutzungsdauern entscheidend für die Anlagenwirtschaftlichkeit. Typische Vollaststunden von nur 800 bis 1.000 h in Verwaltungsbauten und kommerziellen Gebäuden für die Klimatisierung sind gering gegenüber den Heizstunden von etwa 2.500 h. Der Markt für solarthermische Kühlung ist daher noch klein: insgesamt sind in Europa heute etwa 12 MW Kälteleistung installiert, das entspricht rund 120 Anlagen [32]. Die meisten der Anlagen wurden in Deutschland (39,1%), Spanien (27,5%) und Griechenland (8,7%) realisiert. Die insgesamt installierte Kollektorfläche beträgt ungefähr 20.000 m². Rund 60 % der Anlagen verwenden Absorptionskältemaschinen, etwa 11% Adsorptionskältemaschinen und rund 29% offene Kühlverfahren, wobei hier die Anlagen mit Sorptionsrotoren (DEC) dominieren und bislang nur wenige Systeme (4%) mit offener Flüssigsorption arbeiten.

5. Auslegungskennwerte

Der Mittelwert der spezifischen Kollektorfläche aller bisher installierten solaren Kuhlungsanlagen in Europa beträgt rund 3,0 m²/kW. Ein Wert von 3-3,5 m²/kW kann als

Anhaltspunkt für thermisch angetriebene Ab-/Adsorptionskältemaschinen gelten. Bei den offenen Verfahren (DEC, Flüssigsorption) ist eine Angabe bezogen auf die Luftmenge üblicher; hier hat sich ein Wert zwischen 8 und 10 m² pro 1.000 m³/h installierter Luftleistung als sinnvolle Größenordnung herausgestellt [33]. Diese Werte sind aber nur grobe Anhaltspunkte und ersetzen keinesfalls eine detaillierte Anlagenauslegung.

Die spezifischen Gesamtkosten von installierten solaren Kühlungsanlagen liegt bei der Verwendung von Ab-/Adsorptionskältemaschinen in einem Bereich zwischen 5.000 und 8.000 EUR/kW. Bei den offenen Systemen wurden spezifische Gesamtkosten von 2.500 bis 3.500 EUR/kW ermittelt [34].

6. Fazit

Thermische Kühlung mit Solarthermie oder Abwärme Antrieb kann zu einer deutlichen Reduktion des Energieverbrauchs und der CO₂ Emissionen führen. Voraussetzung vor allem bei einstufigen thermischen Sorptionskältemaschinen ist ein sehr hoher solarer Deckungsgrad (größer 70%) oder besser ein vollständig solares Heizsystem, da die niedrigen Leistungszahlen schnell zu hohen Primärenergieverbräuchen bei Nachheizung führen. Für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb müssen die zusätzlichen Investitionskosten der thermischen Kältetechnik noch reduziert werden, was bei höheren Stückzahlen durchaus zu erwarten ist. Bei einem generellen Trend zu größeren solarthermischen Anlagen bieten dann kleine thermische Kältemaschinen gute Möglichkeiten, sommerliche Wärme effizient zu nutzen.

Viele Konzepte aus Absorptions-, Adsorptionstechnik und Flüssigsorption sind mittlerweile aus dem Prototypentwicklungsstadium in den Feldtest und die Produktion übergegangen, so dass in den nächsten Jahren vermehrt Projekte bzw. auch Solar Cooling Kits auch im kleinen Leistungsbereich zu erwarten sind.

7. Referenzen

- [1] JRAIA, "Estimates of World Demand for Air Conditioners (2000-2008)", *The Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association*, 2006, <http://www.jraia.or.jp/>.
- [2] U. Jakob, U. Eicker, "Solare Kühlung in Gebäuden", *Tagungsband 9. Energietag Rheinland-Pfalz*, Bingen, FH Bingen – Transferstelle Bingen, 21 September 2006.
- [3] J. Niemeyer, "Absorption Technology for Solar Air-Conditioning", *Proceedings of the 2nd International Conference Solar Air-Conditioning*, Tarragona, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 18-19 Oktober 2007, Seite 342-345, ISBN 978-3-934681-61-3.
- [4] S. Rentzing, "Starre Sonnenkälte", *neue energie*, Nr. 7, 2007, Seite 50-53.
- [5] M. Safarik, L. Richter, M. Otto, "Entwicklung einer 30 kW H₂O/LiBr Absorptionskältemaschine für den Einsatz in der solaren Kühlung", *Tagungsband 4. Symposium Solares Kühlen in der Praxis*, Stuttgart, HfT Stuttgart, Band 74, 3-4 April 2006, Seite 143-149.
- [6] V. Clauß, A. Kühn, Ch. Schweigler, "Field Testing of a Compact 10 kW Water/LiBr Absorption Chiller", *Proceedings of the 2nd International Conference Solar Air-Conditioning*, Tarragona, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 18-19 Oktober 2007, Seite 572-577, ISBN 978-3-934681-61-3.

- [7] M. Izquierdo, R. Lizarte, J.S. Marcos, E. Palacios, A. Burguete, "Cooling with a 4,5 kW Air-cooled Single Effect LiBr/H₂O Absorption Unit (Rotartica 045v)", *Proceedings of the 2nd International Conference Solar Air-Conditioning*, Tarragona, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 18-19 Oktober 2007, Seite 612-617, ISBN 978-3-934681-61-3.
- [8] I. Dassler, M. Dietrich, D. Hebecker, "Entwicklungsstand und eigene Ergebnisse zur solaren Sorptionsklimakälteerzeugung", *VDI-Berichte*, Nr. 1924, 2006, Seite 313-328.
- [9] C. Bales, G. Bolin, S. Nordlander, F. Settenwall, "Solar driven chemical heat pump with integral storage – the thermo-chemical accumulator", *Proceedings of the 1st International Conference Solar Air-Conditioning*, Bad Staffelstein, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 6-7 Oktober 2005, Seite 63-67, ISBN 3-934681-41-7.
- [10] U. Jakob, W. Pink, "Development and Investigation of an Ammonia/Water Absorption Chiller – chillii® PSC – for a Solar Cooling System", *Proceedings of the 2nd International Conference Solar Air-Conditioning*, Tarragona, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 18-19 Oktober 2007, Seite 440-445, ISBN 978-3-934681-61-3.
- [11] H. Moser, R. Rieberer, "Small-Capacity Ammonia/Water Absorption Heat Pump for Heating and Cooling - Used for Solar Cooling Applications ", *Proceedings of the 2nd International Conference Solar Air-Conditioning*, Tarragona, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 18-19 Oktober 2007, Seite 56-61, ISBN 978-3-934681-61-3.
- [12] T. Brendel, K. Spindler, H. Müller-Steinhagen, „Entwicklung einer 10 kW Absorptionskälteanlage mit Ammoniak/Wasser“, *Tagungsband 4. Symposium Solares Kühlen in der Praxis*, Stuttgart, HfT Stuttgart, Band 74, 3-4 April 2006, Seite 189-207.
- [13] U. Jakob, U. Eicker, D. Schneider, A. Teußler, "Experimental investigation of bubble pump and system performance for a solar driven 2.5 kW diffusion absorption cooling machine", *Proceedings of the Heat SET 2007*, Chambéry, France, 18-20 April 2007, Seite 789-796, ISBN 2-9502555-3-1.
- [14] U. Jakob, M. Huber, D. Dubbelfeld, R. Aubele R, "Experimental investigation of a novel solar cooling system based on a small-scale water/silica gel adsorption heat pump", *Proceedings of the 1st International Symposium on Innovative Materials for Processes in Energy Systems IMPRES*, Kyoto, Japan, 28-31 Oktober 2007.
- [15] D. Z. Wang, Z. Z. Xia, J. Y. Wu, R. Z. Wang, H. Zhai, W. D. Dou, "Study of a novel silica gel-water adsorption chiller. Part I. Design and performance prediction", *International Journal of Refrigeration*, Vol. 28, 2005, Seite 1073-1083.
- [16] D. Dubbelfeld, "Solares Kühlen hydraulische und regelungstechnische Beschreibung einer Adsorptionskältemaschine", *Diplomarbeit*, Fachhochschule Augsburg, Fachbereich Maschinenbau, 2007.
- [17] E. Wiemken, H.-M. Henning, "Solar Assisted Cooling at the University Hospital Klinikum Freiburg", *Proceedings of the 1st International Conference Solar Air-Conditioning*, Bad Staffelstein. Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 6-7 Oktober 2005, Seite 178-182, ISBN 3-934681-41-7
- [18] U. Schürger, U. Eicker, J. Schumacher, "Betriebserfahrungen und Untersuchungen von DEC-Anlagen: Regelungsoptimierung und Energieanalysen", *Tagungsband 4. Symposium Solares Kühlen in der Praxis*, Stuttgart, HfT Stuttgart, Band 74, 3-4 April 2006, Seite 59-71.
- [19] W. Zörner, "Solarunterstützte DEC-Anlage im Güterverkehrszentrum Ingolstadt", *Tagungsband 4. Symposium Solares Kühlen in der Praxis*, Stuttgart, HfT Stuttgart, Band 74, 3-4 April 2006, Seite 73-98.

- [20] H.-M. Henning, "Solar assisted air conditioning of buildings – an overview", *Proceedings of the Heat SET 2005*, Grenoble, France, 5-7 April 2005.
- [21] U. Jakob, U. Eicker, "Solare Kühlung in Mataró", *Sonne Wind & Wärme*, Vol. 31, No. 2, 2007, Seite 46-49.
- [22] C. Hindenburg, "Solare Kälte im Sommer", *Sonne Wind & Wärme*, Vol. 30, Nr. 8, 2006, Seite 52-55.
- [23] E. Lävemann, A. Hublitz, M. Pelzer, "Betriebsergebnisse einer solarunterstützten Flüssigsorptionsanlage in Singapur", *Tagungsband 4. Symposium Solares Kühlen in der Praxis*, Stuttgart, HfT Stuttgart, Band 74, 3-4 April 2006, Seite 53-58.
- [24] A. Lowenstein, S. Slayzak E. Kozubal, "A zero carry over liquid desiccant air conditioner for solar applications", *ASME/SOLAR06*, 8-13 July 2006, Denver, USA, ISEC2006-99079.
- [25] D. Pietruschka, U. Eicker, M. Huber, J. Schumacher, "Experimental performance analysis and modelling of liquid desiccant cooling systems for air conditioning in residential buildings", *International Journal of Refrigeration*, Vol. 29, Nr. 1, 2006, Seite 110-124.
- [26] T. Tsoutsos, J. Anagnostou, C. Pritchard, M. Karagiorgas, D. Agoris, "Solar cooling technologies in Greece - An economic viability analysis", *Applied Thermal Engineering*, Vol 23, 2003, Seite 1427-1439.
- [27] B. Guiney, "Solar thermal for cooling, heating and power generation", *Renewable Energy World*, Vol. 6, No. 2, March-April, 2003, Seite 92-98.
- [28] K. Schubert, J. Dreyer, "Kühlen mit Sonnenenergie", *Dornier Post*, Nr. 1, 1977, Seite 9-11.
- [29] "Solarwärme sorgt für angenehme Kühlung". *Sonnenenergie & Wärmetechnik*, Nr. 1, 1993, Seite 29.
- [30] G. Grossman, "Solar-powered systems for cooling, dehumidification and air-conditioning", *Solar Energy*, Vol. 72, Nr. 1, 2002, Seite 53-62.
- [31] D. Schneider, "Energie- und Wirtschaftlichkeitsanalyse einer industriellen sorptionsgestützten Klimaanlage mit solaren Luftkollektoren", *Tagungsband 2. Symposium Solares Kühlen in der Praxis*, Stuttgart, HfT Stuttgart, Band 56, 10-11 Juni 2002, Seite 17-36.
- [32] H.-M. Henning, "Overview on solar cooling", *Proceedings of the 3rd European Solar Thermal Energy Conference – estec 2007*, Freiburg, 19-20 Juni 2007.
- [33] H.-M. Henning, "Solare Klimatisierung – Stand der Entwicklung", *erneuerbare energien*, Nr. 2, 2005, Seite 7-11.
- [34] U. Jakob, U. Eicker, "Solare Kühlung in Gebäuden", *Tagungsband 9. Energietag Rheinland-Pfalz*, Bingen, FH Bingen – Transferstelle Bingen, 21 September 2006.