

Solare Kühlung – die umweltfreundliche Klimatisierung

Dr. Uli Jakob

1. Einleitung

Die aktive Klimatisierung von Gebäuden ist auch unter deutschen Klimabedingungen erforderlich, wenn hohe innere und äußere Lasten nicht mehr über passive Nachtlüftung abgeführt werden können oder andere Niedrigenergie-Kühltechniken über Erdsonden oder Erdreichkollektoren nicht verfügbar oder leistungsmäßig ausreichend sind und hohe Komfortansprüche an das sommerliche Raumklima gestellt werden. Wird aktiv gekühlt, sind lange Laufzeiten der Kältemaschine entscheidend für die Wirtschaftlichkeit einer solarthermischen Kühlung. Während im Wohnungsbau in Mitteleuropa nur etwa 50 bis 200 Kühlstunden auftreten, sind im südlichen Mittelmeerraum sowie in einigen Industrie- und Verwaltungsbauten etwa 1.000 Volllaststunden erforderlich.

Der Markt für solarthermische Kühlung ist noch klein: insgesamt sind in Europa heute etwa 12 MW Kälteleistung installiert, das entspricht rund 120 Anlagen [1]. 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 (AbKM), etwa 11 % Adsorptionskältemaschinen (AdKM) und rund 29 % offene Kühlverfahren, wobei hier die Anlagen mit Sorptionsrotoren (DEC, Rotor) dominieren und bislang nur wenige Systeme (4 %) mit offener Flüssigsorption arbeiten. Das Potential ist jedoch hoch - alleine in Deutschland fallen etwa 40.000 GWh Stromverbrauch alleine für die Klimatisierung von Bürogebäuden an [2]. In vielen Demonstrationsprojekten in Deutschland und Europa werden Betriebserfahrungen gesammelt. Dadurch werden die Regelstrategien verbessert und die Planung der Anlagen erleichtert. Die Solare Kühlung bietet dem Energieberater die Möglichkeit eine CO₂ minimierte Klimatisierung für Nachrüstungen im Büro- bzw. Wohngebäudebereich planen zu können.

2. Solare Kühlungstechnologien

Die Technologie des solaren Kühlens wird seit einigen Jahrzehnten schon eingesetzt, aber es gibt bisher wenig kommerziell erhältliche Solare Kühlung Komplettsysteme. Hauptsächlich finden Absorptionskältemaschine und sorptionsgestützte DEC-Anlagen (Desiccant and Evaporative Cooling) Verwendung in der Gebäudeklimatisierung. Vereinzelt werden nun auch Adsorptionskältemaschinen und Flüssigsorptionsanlagen für die Gebäudeklimatisierung verwendet. Die solarthermisch betriebenen Kühlverfahren lassen sich grundsätzlich in zwei Hauptgruppen einteilen, die geschlossenen Systeme zur Kaltwassererzeugung und die offenen Systeme zur Klimatisierung der Luft (Abb. 1).

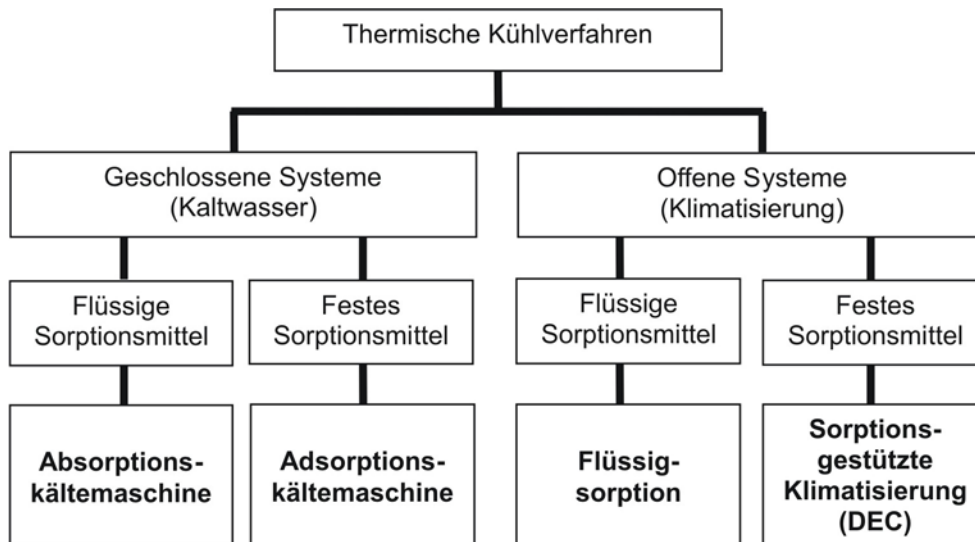


Abb. 1: Prinzipielle Einteilung thermischer Kühlverfahren

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 1: Übersicht über solarthermische beheizbare Kälte- und Klimatisierungsverfahren

Technologie	Absorption			Adsorption	DEC
	einstufig	zweistufig	einstufig		
Kältemittel	Wasser	Wasser	Ammoniak	Wasser	–
Sorptionsmittel	Lithiumbromid	Lithiumbromid	Wasser	Silikagel	Silikagel oder Lithiumchlorid
Kälte-träger	Wasser	Wasser	Wasser-Glykol	Wasser	Luft
Kälte-temperatur-bereich	6 – 20°C	6 – 20°C	-30 – +20°C	6 – 20°C	16 – 20°C
Heiz-temperatur-bereich	80 – 100°C	130 – 160°C	100 – 180°C	55 – 100°C	55 – 100°C
Kühlwasser-temperatur	30 – 50°C	30 – 50°C	30 – 50°C	25 – 35°C	nicht erforderlich
Kälte-leistungsbereich pro Einheit	15 – 20.500 kW	170 – 23.300 kW	10 – 1.000 kW	70 – 350 kW	6 – 300 kW
Leistungszahl (COP)	0,6 – 0,7	1,1 – 1,4	0,5 – 0,6	0,6 – 0,7	0,5 – 1,0

2.1 Absorptionskältemaschine

Marktdominierend sind einstufige Absorptionskältetechniken mit den Stoffpaaren Wasser/ Lithiumbromid ($\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$) bzw. Ammoniak/Wasser ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$), welche über einen geschlossenen, kontinuierlichen Kreisprozess Kälte erzeugen. Die Verdampfertemperatur kann bei Ammoniak Absorptionskältemaschinen bis auf minus 60°C gesenkt werden, so dass industrielle Kälteprozesse möglich sind. Bei der Verwendung von Wasser als Kältemittel ist die Verdampfertemperatur auf Temperaturen oberhalb des Gefrierpunktes von minimal 5 bis 6°C beschränkt. Zweistufige Absorptionskältemaschinen (double-effect) haben höhere Leistungszahl von 1,1 bis 1,4, da die bei einer hohen Heiztemperatur zugeführte Wärme im

Prozessablauf ein zweites Mal auf niedrigerem Temperaturniveau genutzt wird. Grundsätzlich finden Absorptionskältemaschinen Verwendung als zentrale Klimatisierungsgeräte oder als Kühlsysteme mit dezentralen Umluftgeräten (fan-coils) oder Kühldecken für die Klimatisierung der zu kühlenden Räume.

Bei der Absorptionskältetechnik wird das Kältemittel (Wasser oder Ammoniak) in einem flüssigen Lösungsmittel (LiBr oder Wasser) absorbiert und durch direkte oder indirekte Beheizung in einem Austreiber bei hohen Temperaturen desorbiert und auf den erforderlichen Kondensatordruck gebracht. Bei der Absorption wird Lösungswärme frei, die über einen Kühlkreis abgeführt werden muss. Die Antriebstemperaturen für die Austreibung liegen je nach Technologie zwischen 80 und 180°C.



Abb. 2: Wasser/Lithiumbromid Absorptionskältemaschine WFC-10 der Firma Yazaki (Quelle: SolarNext)

Eine spezielle Absorptionskältemaschine stellt die Diffusions-Absorptionskältemaschine (DAKM) dar, welche keine beweglichen Teile wie Lösungspumpe und Drosseln besitzt. Das dabei verwendete Stoffpaar ist Ammoniak/Wasser mit Helium oder Wasserstoff als Hilfsgas zum Druckausgleich zwischen Hoch- und Niederdruckbereich. Die DAKM gibt es als so genannte Absorber-Kühlschränke im Camping- oder Hotelbereich oder für die Klimatisierung von Einfamilienhäusern oder einzelnen Büroräumen im kleinen Leistungsbereich mit 2,5 kW Kälteleistung.

2.2 Adsorptionskältemaschine

Bei der geschlossenen Adsorptionstechnik wird das Kältemittel Wasser an einem Festkörper wie Silikagel unter Freisetzung von Bindungswärme an der Oberfläche adsorbiert. Die Bindungswärme sinkt bei steigender Anlagerung von Wassermolekülen gegen Null, so dass nur noch Verdampfungswärme abgeführt werden muss. Die Desorption des angelagerten Wassers und die Druckerzeugung für die Kondensation erfolgt bereits bei niedrigen Antriebstemperaturen von 60 bis 70°C, so dass diese Technologie besonders für den Einsatz von Solarenergie geeignet ist. Bei Verwendung von Zeolith als Adsorptionsmittel erfolgt die Desorption des angelagerten Wassers bei hohen Antriebstemperaturen von 250 bis 350°C, die mittels einem konzentrischen Parabol-Kollektor bereitgestellt werden.



Abb. 3. Wasser/Silikagel Adsorptionskältemaschine vom Typ Mycom der Firma Mayekawa (Quelle: Albring GmbH)

Von geschlossenen Adsorptionskältemaschinen wird durch den periodischen Kreisprozess Kaltwasser von minimal 5 bis 6°C erzeugt. Diese Kältemaschinen können ebenfalls als Kühlsysteme mit dezentralen Umluftgeräten (fan-coils) oder Kühldecken sowie als zentrale Klimatisierungsgeräte eingesetzt werden.

2.3 Offene sorptionsgestützte Klimatisierung

Offene Adsorptionsanlagen, so genannte DEC-Anlagen (Desiccant and Evaporative Cooling), verwenden die Zuluft direkt als Kälte­träger. Die physikalische Adsorption von Wasser an Silikagel oder Lithiumchlorid (LiCl) dient in diesem Prozess zur Trocknung der Luft. Gekühlt wird anschließend mit einer direkten Verdunstungs­befeuchtung der getrockneten und über einen Wärmetauscher vorgekühlten Luft. Die thermische Antriebsenergie ist zur Regeneration des Sorptionsmittels, d.h. zur Desorption des adsorbierten Wassers, erforderlich. Mit offener Adsorption werden prozessbedingt Lufttemperaturen von minimal etwa 16°C erreichen, so dass der Einsatzbereich auf die Klimatisierung beschränkt ist. Die Antriebstemperaturen können auch bei diesem Verfahren sehr niedrig (60 bis 70°C) gewählt werden.



Abb. 4. Solarunterstützte DEC Anlage in einem Fabrikgebäude in Althengstett (Quelle: zafh.net)

2.4 Flüssigsorption

In offenen Sorptionskälteanlagen (DEC) werden neben festen Adsorptionsmitteln wie Silikagel oder Zeolithe auf Grund des hohen Entfeuchtungspotentials zunehmend auch flüssige Absorbentien aus wässrigen Lithiumchlorid- oder Calciumchloridsalzlösungen zur Lufttrocknung eingesetzt. Die Kälteerzeugung erfolgt auch hier rein über Verdunstungsbeefeuchtung der getrockneten und über einen Wärmetauscher vorgekühlten Luft. Zur Entfeuchtung der Luft wird die konzentrierte Salzlösung über einen Kontaktkörper mit möglichst großer Oberfläche verrieselt, der von der zu trocknenden Luft durchströmt wird. Durch das relativ hohe Partialdampfdruckgefälle zwischen Luft und Salzlösung nimmt die Salzlösung Wasser aus der Luft auf, wodurch ihre Konzentration und damit auch ihr Absorptionspotential abnimmt.



Abb. 5: Flüssigsorptionssystem OA-6000 mit Kühlturm der Firma AIL Research Inc
(Quelle: AIL Research)

Um einen kontinuierlichen Prozess aufrecht zu erhalten, ist es erforderlich die Salzlösung zu regenerieren, d.h. das aufgenommene Wasser aus der Salzlösung auszutreiben. Hierzu wird die Salzlösung z.B. über solarthermisch erzeugte Wärme auf 60 bis 90°C erhitzt, bevor sie einem mit Luft durchströmten Regenerator zugeführt wird. Neben dem höheren Absorptionspotential liegt der wesentlich Vorteil der Salzlösungen gegenüber festen Adsorbentien in ihrer Pumpbarkeit, die eine verlustfreie Speicherung der konzentrierten Salzlösung ermöglicht. Die Abhängigkeit von der momentanen Sonneneinstrahlung ist bei diesen Systemen somit deutlich geringer als bei festen Adsorbentien die üblicherweise in Sorptionsrädern eingesetzt werden.

3. Marktpotential

3.1 Konventionelle Klimatisierung

Die Absatzzahlen vor allem kleiner Mini-Splittgeräte 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% [3]. Die japanische Refrigeration and Air Conditioning Industry Association (JRAIA) gibt für Kältemaschinen im kleinen Leistungsbereich von 2-4 kW für Wohn- sowie Verwaltungsgebäude (Abb. 6) einen weltweiten Absatz von 62,97 Millionen Geräten im Jahr 2006 an, davon 5,38 Millionen in Europa [4]. 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.

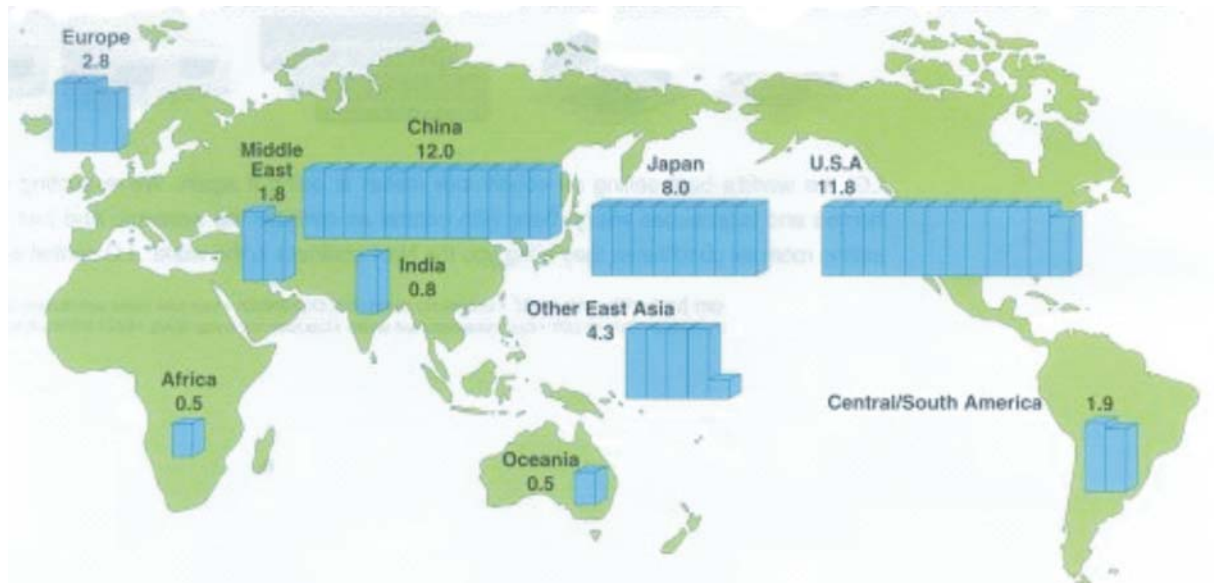


Abb. 6: Weltweite Absatzzahlen von Kompressions-Splittgeräten bis 4 kW Kälteleistung für 2002 [4]

Elektrische Kompressionskältemaschinen haben im kleinen Leistungsbereich einen COP von knapp 3,0, beste Technik liefert heute Leistungszahlen von 5 bis 6. Die Splitgeräte 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 [5]. 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 Kälteerzeugung. Elektrische Kompressionskältemaschinen liefern eine Primärenergie-Leistungszahl knapp unter 1,0 und bei Einsatz bester Technik maximal 2,0.

3.2 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 [6,7] und Arkla Industries Inc., USA (heute Robur SpA, Italien) [8] entwickelt und in Demonstrationsprojekten verwirklicht. Aufgrund des mangelnden Absatzes wurde die Produktion dieser solaren Kühlsysteme eingestellt.

Auch heute sind solar betriebene Kältemaschinen jedoch noch nicht wirtschaftlich. Die solarthermische Anlage ist der größte Kostenfaktor, die Betriebs- und Wartungskosten sind niedriger als bei konventionellen Anlagen, die Investitionskosten aufgrund der geringen Stückzahlen höher [8]. 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 [9]. Aufgrund des hohen Kostenanteils der solarthermischen Anlage sind hohe Nutzungsdauern entscheidend für die Anlagenwirtschaftlichkeit. Typische Volllaststunden 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. Eine ganzjährige Energienutzung der erneuerbaren Energiequellen zur Warmwasserbereitung, Heizungsunterstützung und solaren Kühlung ist unabdingbar.

Der Mittelwert der spezifischen Kollektorfläche aller bisher installierten solare Kühlungsanlagen 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 [10]. 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.

4. Aktuelle Entwicklungen und Erfahrungen

4.1 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 EAW Westenfeld bietet Wasser/LiBr Absorber mit 15 kW bis 200 kW Kälteleistung an, wobei die beiden kleinsten Kältemaschine (15 kW und 30 kW) seit Mai 2007 exklusiv von Schüco vertrieben werden [11]. Diese Absorptionskältemaschinen erzielen im Auslegungszustand von 15°C Verdampfertemperatur, 32°C Rückkühltemperatur und 90°C Heißwassertemperatur eine Leistungszahl 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 [12]. 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 [13]. Die Markteinführung ist für 2009 geplant.

Während für die Vermeidung von Kristallisation in konventionellen Absorptionskältemaschinen ein hoher Aufwand getrieben wird, nutzt die Firma ClimaWell 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 1-7 kW sind seit 2005 im Feldtest in Spanien [14].

Eine weitere LiBr Maschine kleiner Kälteleistung wird seit einigen Jahren von der Firma Rotartica in Spanien entwickelt und in Feldtests analysiert. Mit gemessenen 4 kW Kälteleistung werden Leistungszahlen zwischen 0.6 und 0.7 erzielt, wobei durch

den eingesetzten rotierenden Absorber mit trockener Rückkühlung gearbeitet werden kann – ein wichtiger Vorteil bei kleinen Installationen [15]. 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 [16]. Die Markteinführung ist bisher für 2008 exklusiv von der Firma Paradigma geplant.



Abb. 7: Ammoniak/Wasser Absorptionskältemaschine chillii® PSC10 mit Nasskühlturm (Quelle: SolarNext)

Die Firma SolarNext vertreibt seit Ende 2006 exklusiv eine Ammoniak/Wasser Absorptionskältemaschine, den chillii® PSC, 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 (Nasskühler oder Trockenrückkühler) im Bereich von 75 bis 85°C. Die Leistungszahlen bewegen sich für die Auslegungszustände zwischen 0,6 und 0,65.

Vom ITW der Universität Stuttgart wird derzeit eine Ammoniak/Wasser Absorptionskälteanlage von 10 kW maximaler Kälteleistung weiterentwickelt. Die Beförderung der Lösung auf den hohen erforderlichen Druck erfolgt mit einer Membranpumpe [17]. 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 [18].

4.2 Adsorptionskälte

Ein Problem der geschlossenen Adsorptionsanlagen ist der schlechte Wärmetransport zwischen Feststoff-Adsorbentien, 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 Firma SorTech hat eine Anlage mit 5,5 kW Kälteleistung entwickelt, welche von der SolarNext, CitrinSolar, Sol-ution und Solvis vertrieben wird. Erste Feldtests laufen seit 2007 [19].



Abb. 8: Wasser/Silikagel Adsorptionskältemaschine chillii® STC6
(Quelle: SorTech)

Größere Adsorptionsanlagen der japanischen Hersteller Nishyodo und Mayekawa 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 [20].

4.3 Offene sorptionsgestützte Klimatisierung

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

Die vom Fraunhofer ISE in Freiburg vermessene Sorptionsanlage mit 10.200 m³ h⁻¹ Volumenstrom und rein solarem Regenerationsbetrieb ergaben jährliche Kollektorerträge der Luftkollektoranlage von maximal 100 kWh m⁻² a⁻¹ [21]. 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 43%.

4.4 Flüssigsorption

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 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 [22].



Abb. 9. Aufbau der Wärmetauscherabsorptionseinheit WTAH der Flüssigsorption
(Quelle: zafh.net)

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 [23]. Die Firma L-DCS installiert ein 350 kW großes Flüssigsorptionssystem in Singapur, basierend auf den Entwicklungsarbeiten am ZAE Bayern [24]. Auch in den USA werden Flüssigsorptionssysteme der Firma AIL Research mit besonders geringen Durchflussmengen entwickelt und derzeit im Feldtest geprüft [25].

5. Fazit

Der Energiebedarf für Klimatisierung steigt in Deutschland, Europa und weltweit. In Deutschland werden bereits 77.000 GWh elektrisch für Kühlung eingesetzt. Das entspricht 14 % des Stromverbrauchs und 5,8 % des Primärenergiebedarfs. Thermische Kühlung mit Solarthermie oder Biomasse kann zu einer deutlichen Reduktion des Energieverbrauchs und der CO₂ Emissionen führen. Allerdings können die niedrigen Leistungszahlen 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 sehr geringen Wärmepreisen, z.B. in Biomasse-KWK Anlagen oder bei ohnehin vorhandenen solarthermischen Anlagen zur Heizungsunterstützung und langen Laufzeiten, können heute thermische Klimatisierungsanlagen nahezu mit elektrischer Kompressionskälte konkurrieren. Bei einem generellen Trend zu größeren solarthermischen Anlagen bieten dann kleine thermische Kältemaschinen gute Möglichkeiten, sommerliche Wärme effizient zu nutzen.

Viele Konzepte aus Absorption, Flüssigsorption und Adsorptionstechnik sind mittlerweile in Feldtests oder sind in die Produktion übergegangen. In den nächsten Jahren können daher vermehrt solare Kühlungssysteme auch im kleinen Leistungsbereich auf dem Markt erwartet werden.

Dr. Uli Jakob,
Head of Solar Cooling Division
SolarNext AG
Nordstraße 10
83253 Rimsting

Tel.: 08051/6888-403
Fax: 08051/6888-490
E-mail: uli.jakob@solarnext.de
Internet: www.solarnext.de



7. Literatur

- [1] Henning H.-M.: Overview on solar cooling. In: Proceedings of the 3rd European Solar Thermal Energy Conference – estec 2007, Freiburg, Germany, 2007 June 19-20
- [2] Nick-Leptin J.: Political framework for research and development in the field of renewable energies. Proceedings of the 1st International Conference Solar Air-Conditioning, Bad Staffelstein. Regensburg: Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 2005 Oktober 6-7, Seite 16-20, ISBN 3-934681-41-7
- [3] Tsoutsos T., Anagnostou J., Pritchard C., Karagiorgas M., Agoris D.: Solar cooling technologies in Greece - An economic viability analysis. Applied Thermal Engineering 2003, Vol 23, Seite 1427-1439
- [4] JRAIA: Estimates of World Demand for Air Conditioners (2000-2008). The Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association 2006, <http://www.jraia.or.jp/>
- [5] Guiney B.: Solar thermal for cooling, heating and power generation. Renewable Energy World 2003, March-April, Seite 92-98
- [6] Schubert K., Dreyer J.: Kühlen mit Sonnenenergie. Dornier Post 1977, Nr. 1, Seite 9-11
- [7] Solarwärme sorgt für angenehme Kühlung. Sonnenenergie & Wärmetechnik 1993, Nr. 1, Seite 29
- [8] Grossman G.: Solar-powered systems for cooling, dehumidification and air-conditioning. Solar Energy 2002, Vol. 72, Nr. 1, Seite 53-62
- [9] Schneider D.: Energie- und Wirtschaftlichkeitsanalyse einer industriellen sorptionsgestützten Klimaanlage mit solaren Luftkollektoren. Tagungsband 2. Symposium Solares Kühlen in der Praxis, Stuttgart. HfT Stuttgart: 2002 Juni 10-11, Band 56, Seite 17-36
- [10] Henning H.-M.: Solare Klimatisierung – Stand der Entwicklung. erneuerbare energien 2005, Nr. 2, Seite 7-11
- [11] Rentzing S.: Starre Sonnenkälte. neue energie 2007, Nr. 7, Seite 50-53
- [12] Safarik M., Richter L., Otto M.: 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: 2006 April 3-4, Band 74, Seite 143-149

- [13] Petersen S., Caporal S., Kühn A., Mittermaier M., Ziegler F.: Untersuchungsergebnisse einer 10 kW H₂O/LiBr Absorptionskälteanlage. Tagungsband 4. Symposium Solares Kühlen in der Praxis, Stuttgart. HfT Stuttgart: 2006 April 3-4, Band 74, Seite 115-122
- [14] Bales C., Bolin G., Nordlander S., Settenwall F.: Solar driven chemical heat pump with integral storage – the thermo-chemical accumulator. Proceedings of the 1st International Conference Solar Air-Conditioning, Bad Staffelstein. Regensburg: Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 2005 Oktober 6-7, Seite 63-67, ISBN 3-934681-41-7
- [15] Gorritxategi X., Usabiaga M., Egilegor B., Aldecoa-Otalora I.: Innovation in solar domestic air-conditioning. Proceedings of the 1st International Conference Solar Air-Conditioning, Bad Staffelstein. Regensburg: Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 2005 Oktober 6-7, Seite 75-79, ISBN 3-934681-41-7
- [16] Dassler I., Dietrich M., Hebecker D.: Entwicklungsstand und eigene Ergebnisse zur solaren Sorptionsklimakälteerzeugung. VDI-Berichte Nr. 1924, 2006, Seite 313-328
- [17] Brendel T., Spindler K., Müller-Steinhagen H.: Entwicklung einer 10 kW Absorptionskälteanlage mit Ammoniak/Wasser. Tagungsband 4. Symposium Solares Kühlen in der Praxis, Stuttgart. HfT Stuttgart: 2006 April 3-4, Band 74, Seite 189-207
- [18] Jakob U., Eicker U., Schneider D., 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, 2007 April 18-20
- [19] Jakob U., Huber M., Dubbelfeld D., 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, 2007 October 28-31
- [20] Wiemken E., Henning H.-M.: Solar Assisted Cooling at the University Hospital Klinikum Freiburg. Proceedings of the 1st International Conference Solar Air-Conditioning, Bad Staffelstein. Regensburg: Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 2005 Oktober 6-7, Seite 178-182, ISBN 3-934681-41-7
- [21] Henning H.-M.: Solar assisted air conditioning of buildings – an overview. Proceedings of the Heat SET 2005, Grenoble, France, 2005 April 5-7
- [22] Pietruschka D., Eicker U., Huber M., Schumacher J.: Experimental performance analysis and modelling of liquid desiccant cooling systems for air conditioning in residential buildings. International Journal of Refrigeration 2006, Vol. 29, Nr. 1, Seite 110-124
- [23] Hindenburg C.: Solare Kälte im Sommer. Sonne wind & Wärme 2006, Vol. 30, Nr. 8, Seite 52-55
- [24] Lävemann E., Hublitz A., Pelzer M.: Betriebsergebnisse einer solarunterstützten Flüssigsorptionsanlage in Singapur. Tagungsband 4. Symposium Solares Kühlen in der Praxis, Stuttgart. HfT Stuttgart: 2006 April 3-4, Band 74, Seite 53-58
- [25] Lowenstein A., Slayzak S., Kozubal E.: A zero carry over liquid desiccant air conditioner for solar applications. ASME/SOLAR06, 2006 July 8-13, Denver, USA, ISEC2006-99079