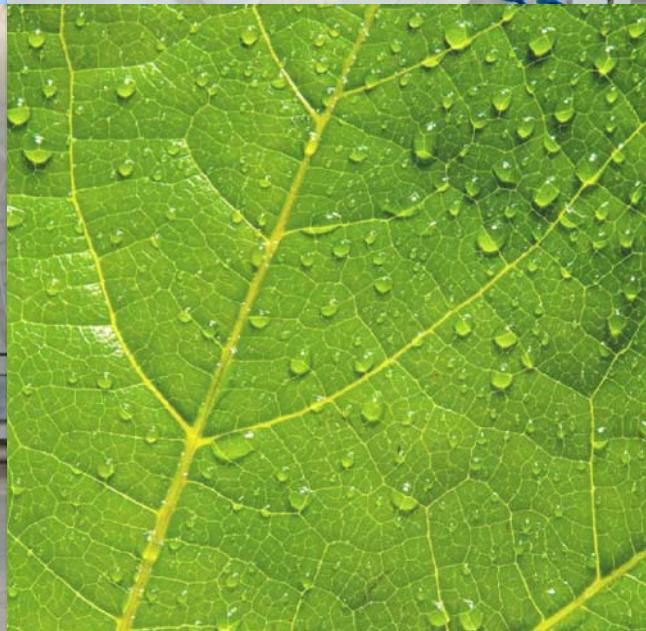
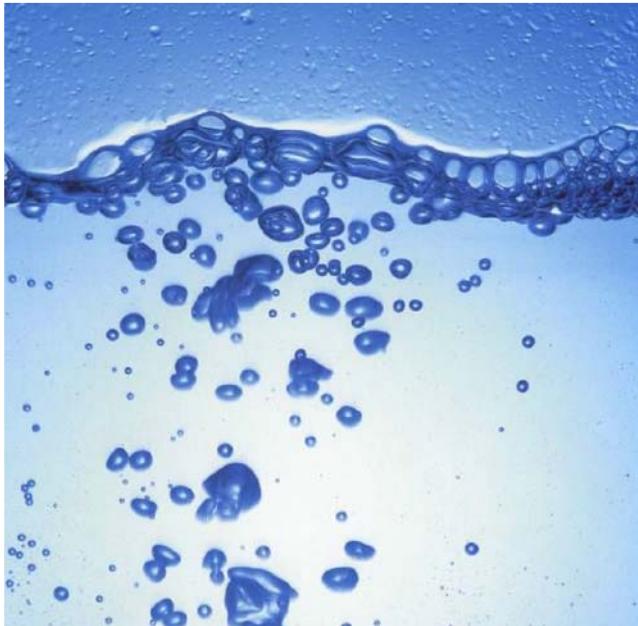


# Zukunftsmarkt Solares Kühlen



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

Umwelt  
Bundes  
Amt  
  
Für Mensch und Umwelt



# **Zukunftsmarkt Solares Kühlen**

Fallstudie im Auftrag des Umweltbundesamtes

im Rahmen des Forschungsprojektes  
Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern  
(Förderkennzeichen 206 14 132/05)

durchgeführt

von

Borderstep Institut

im Auftrag des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (Fh-ISI),  
Karlsruhe

Autor:

Jens Clausen

## Impressum

Herausgeber: Umweltbundesamt (UBA)  
Postfach 1406, 06844 Dessau-Roßlau  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
[www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
Referat Öffentlichkeitsarbeit  
11055 Berlin  
E-Mail: [service@bmu.bund.de](mailto:service@bmu.bund.de)  
[www.bmu.de](http://www.bmu.de)

ISSN: 1865-0538  
Projektbetreuung: Michael Golde  
Umweltbundesamt (UBA)

Peter Franz  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Autor: Dr. Jens Clausen  
Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH  
[www.borderstep.de](http://www.borderstep.de), Tel. 0511-1640345

Titelfotos: Q-Cells AG, BMU / Rupert Oberhäuser, ccvision GmbH

Stand: Dezember 2007

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>1</b>
<b>Summary.....</b>	<b>3</b>
<b>1 Einführung.....</b>	<b>5</b>
<b>2 Potenziale der Technologielinie „solares Kühlen“ .....</b>	<b>7</b>
2.1    Die Technologie .....	7
2.1.1    Bisherige Systeme der Raumklimatisierung.....	7
2.1.2    Komponenten der Techniklinie solares Kühlen .....	11
2.1.3    Fazit Technologie solares Kühlen .....	15
2.1.4    Verortung im Innovationszyklus .....	17
2.2    Nutzen für Umwelt und Gesellschaft .....	17
2.3    Wirtschaftliche Potenziale .....	18
<b>3 Leistungsfähigkeit der wichtigsten Länder in der betrachteten Techniklinie .....</b>	<b>21</b>
<b>4 Innovationssystem und marktführende Unternehmen in den führenden Ländern .....</b>	<b>24</b>
4.1    Akteursanalyse.....	24
4.1.1    Akteursanalyse Solarkollektoren .....	24
4.1.2    Akteursanalyse wärmegetriebene Kältemaschinen.....	26
4.1.3    Akteursanalyse Forschung.....	30
4.2    Rahmenbedingungen und Regulierung.....	31
<b>5 Fazit: SWOT-Analyse Deutschland.....</b>	<b>34</b>
<b>6 Politische Strategien zur Förderung des solaren Kühlens .....</b>	<b>35</b>

6.1	Schaffung guter Ausgangsbedingungen für das solare Kühlen im „Erneuerbare-Wärme-Gesetz“ .....	35
6.2	Strategie des „ungenutzten Zuckerhuts“ .....	35
<b>Literatur.....</b>		<b>38</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Angebot und Bedarf solarer Wärme.....	7
Abbildung 2-2:	Marktanteile unterschiedlicher Klimatisierungstechnologien bis 2020 bezogen auf die gekühlte Fläche in Mio. m <sup>2</sup> in Europa.....	8
Abbildung 2-3:	Energieeffizienz (Arbeitszahlen) für Chillers in Abhängigkeit ihrer Kapazität in kW und getrennt nach luft- und wassergekühlten Systemen .....	9
Abbildung 2-4:	Spezifischer Energieverbrauch verschiedener Klimaanlagen in Bürogebäuden in Europa.....	10
Abbildung 2-5:	Anteile der Systemkomponenten am Energieverbrauch verschiedener Klimaanlagen in Bürogebäuden in Europa .....	10
Abbildung 2-6:	Grundprinzip der solaren Klimatisierung .....	11
Abbildung 2-7:	Relative Kälteleistung in Abhängigkeit vom solaren Deckungsgrad und dem Coefficient of Performance der eingesetzten Kältemaschine .....	13
Abbildung 2-8:	Solarer Deckungsgrad der ersten Pilotanlage mit solarer Wärmeversorgung am Fraunhofer Solar Building Innovation Center (SOBIC) in Freiburg .....	14
Abbildung 3-1:	Technologiemarktführer Solarthermie aus Sicht der IEA .....	21
Abbildung 3-2:	Installierte Solarkollektoren in Europa 2005 und Zubau 2006 .....	22
Abbildung 4-1:	Realisierte Anlagen solar unterstützter Klimatisierung in Europa 2004.....	31
Abbildung 6-1:	Angebot und Bedarf solarer Wärme: der „ungenutzte Zuckerhut“ .....	36

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Überblick über die gängigsten Technologien zur solaren Kühlung .....	12
Tabelle 2-2:	Potenzielle Anwendungsfelder von Absorptionskältemaschinen in der Industriekälte .....	14
Tabelle 2-3:	Beteiligte Wirtschaftssektoren .....	16
Tabelle 3-1:	Verteilung der Solarthermieleistung und neu installierte Kapazität 2005 .....	21
Tabelle 4-1:	Wichtigste, in Europa tätige Solarkollektoren-Hersteller .....	24
Tabelle 4-2:	Hersteller von Absorptionskältemaschinen .....	27
Tabelle 4-3:	Hersteller von Adsorptionskältemaschinen .....	29
Tabelle 4-4:	Hersteller von Soprtskältemaschinen .....	29
Tabelle 5-1:	SWOT-Analyse für die internationale Wettbewerbsfähigkeit der EU und Deutschlands in der Techniklinie solares Kühlen .....	34



## Zusammenfassung

Der Zukunftsmarkt "Solares Kühlen" ist für die Nachhaltigkeit von Gebäuden mit Klimaanlagen, besonders in warmen Ländern, von höchster Bedeutung. Denn die Zahl der installierten elektrischen Klimaanlagen nimmt besonders in Schwellenländern gegenwärtig schnell zu und mit ihr deren hoher Stromverbrauch.

Prinzipiell bestehen alle Anlagen der solaren Kühlung aus drei Komponenten: einem Solarkollektor, einer durch Solarwärme angetriebenen Kältemaschine, die jedoch auch einen geringen Stromverbrauch hat, sowie einer Anlage zur Kälteverteilung.

Eigentlich ist das solare Kühlen eine erprobte Technologie, die seit den 70er Jahren in mittleren Stückzahlen in Japan eingesetzt wurde. Sowohl die solare Energieversorgung wie auch die Produktion von Aggregaten kleiner Leistung wurde allerdings wieder eingestellt. Dementsprechend kann die solare Kühlung mit kleinen Anlagen im Innovationszyklus erst (bzw. wiederum) an der Schwelle zur Diffusion verortet werden. Großanlagen über 50 kW sind dagegen serienreif.

Es entwickeln sich gegenwärtig besonders in Deutschland und Österreich Leitmärkte für das solare Kühlen. Unterstützend wirkt hier die gute Marktdurchdringung mit Solarkollektoren. In diesen Ländern sind die meisten Spezialunternehmen für Aggregate kleiner Leistung ansässig, für die das größte Potenzial im Massenmarkt angenommen wird. Aufgrund der letztlich geringeren Sonneneinstrahlung in Deutschland werden sich aber größere Absatzmärkte eher im Mittelmeerraum und in den südostasiatischen Schwellenländern, später auch in den USA, entwickeln. Hierfür ist aber die Entwicklung einer ausgereiften Anlagentechnik und der notwendigen, hochkomplexen Anwendungstechnik Bedingung.

Der ökologische Lösungsbeitrag der solaren Kühlung ist ein dreifacher:

- Statt einer hohen elektrischen Leistung für die Kühlanlage kann der Verbrauch an elektrischer Energie auf die Antriebe von Pumpen und Lüftern beschränkt werden. Das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme schätzt Primärenergiesparpotenziale von 40 bis 60 % für gut ausgelegte Kaltwassersysteme und 20 bis 50 % für die offenen Systeme der Klimatisierung mittels Sorptionstechnik.
- Da der Stromverbrauch besonders an warmen Sommertagen gesenkt wird, entlastet dies die Netze gerade zu Zeiten, zu denen sie oft überlastet sind.
- Die Wärmenutzung im Sommer erfolgt weiter zu einer Zeit, in der die bei Anlagenstillstand entstehende Hitze sonst die Solarkollektoren eher schädigt.

Das ökonomische Potenzial gerade erst entstehender Märkte ist schwer abschätzbar, aber die schnell steigenden Absatzzahlen elektrischer Klimageräte lassen die Entwicklung eines großen Marktes erwarten. Für Geräte der solaren Klimatisierung lässt sich von daher ein Marktvolumen zwischen 4,5 und 18 Milliarden € in 2020 schätzen.

Das solare Kühlen sollte wie die anderen Bereiche der Nutzung regenerativer Energien als neue Techniklinie politisch unterstützt werden. Etappenziel der Unterstützung ist das Erreichen einer kritischen Marktmasse, die zu sich selbst unterstützenden Abläufen führt. Hierzu sind im Kern erforderlich:

- die weitere Förderung von Pilotprojekten und Vorserien, damit die Technologie serienreif wird und die ersten Skaleneffekte zu fallenden Investitionskosten führen,
- auf das Installationsgewerbe Heizung, Sanitär und Klima gerichtete Informations- und Schulungskampagnen sowie
- auf Erstanwender im gewerblichen wie privaten Bereich gerichtete Informationskampagnen, ggf. zunächst mit Förderangeboten.

Das Solare Kühlen sollte darüber hinaus in Gesetze und Verordnungen zum Energieverbrauch von Gebäuden einfließen.

## Summary

The sustainable future market of Solar Cooling Technology is of utmost importance for the sustainability of buildings with air conditioning, especially in countries with intense solar radiation. The application of electrical air conditioning is growing fast and is now spreading to transition economies in East Asia.

Solar Cooling is driven by solar heat gathered by solar collectors, usually situated on the roofs of buildings. This heat drives different types of complex, thermodynamic devices which transform heat into cold, using a small amount of electricity to drive pumps. Via a medium the cold is distributed in rooms.

Solar Cooling Technology was developed about thirty years ago and the large scale machinery necessary to air condition office buildings is in its maturity phase. However, application experience is widely limited due to a lack of a larger number of applications and especially smaller devices will be necessary to air condition family homes. A number of European start-up companies is active to develop this smaller devices. All over, some 300 buildings use solar cooling in Europe, most of them are research and development applications.

The benefit of solar cooling is threefold:

- depending on the individual application, solar cooling saves up to 60% of energy compared to electrical air conditioning,
- since electricity is saved when sun shines most intensively, solar cooling reduces the burden on the electrical grid at peak times,
- the heat used at times, when solar collectors are suffering under high temperature non-use phases reduces the stress on the collectors and may prolong their lifetime.

The economic potential of a product market in its infancy is hard to evaluate, but high growth rates of electrical air conditioning in many countries point to the development of a possibly very large market. The world market volume in 2020 was assessed between 4.5 and 18 billion €.

Countries with highest activity are in Europe. Many start-up companies from the field of solar cooling are German and Austrian firms and many research facilities are distributed in mid and south Europe. The big area of installed solar collectors in Germany and Austria is facilitating applications in these countries. And the regulation demanding mandatory installation of solar collectors in Spain on new buildings is fostering the regional development.

Political strategies may target:

- the funding of additional pilot projects and small serial applications to support readiness for production of products and application technology,
- the information and qualification of those sectors necessary for large scale application, like air condition specialists and architects,
- Information and motivation of pilot users.

Solar Cooling should also be observed in the design of regulations concerning sustainable building and heating.

## 1 Einführung

Der Umwelt- und Ressourcenschutz gewinnt national und international eine zunehmende Bedeutung. Damit verbunden wird sich die Nachfrage nach Umwelttechniken weltweit dynamisch entwickeln. Inzwischen hat sich aus dem Umwelt- und Ressourcenschutz auch ein maßgeblicher Treiber für Innovationen entwickelt. Umwelt- und Innovationspolitik wachsen dadurch immer stärker zusammen, moderne Umweltpolitik muss auch Innovationspolitik sein.

Um Wachstums- und Beschäftigungspotenziale zu mobilisieren ist es wichtig, Synergieeffekte zwischen der Verbesserung der Umweltsituation, der Schaffung zukunftsfähiger Arbeitsplätze und der Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit zu identifizieren und zu nutzen. Das Forschungsprojekt „Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern“ analysiert die Innovationsdynamik in wichtigen Handlungsfeldern systematisch und auf zusammenfassender Ebene. Diese Handlungsfelder bildeten die Basis, um elf Produktgruppen/Technologien auszuwählen, die in Fallstudien vertieft untersucht werden.

Jede Fallstudie enthält eine kurze Vorstellung der Grundlagen der entsprechenden Technologie. Anschließend folgt eine nähere Analyse des Zukunftsmarktes und seiner Innovationsdynamik. Besonderes im Blickpunkt stehen dabei die Entwicklung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher und europäischer Unternehmen im internationalen Vergleich, ihr Umfeld sowie Ansatzpunkte für eine Stärkung des deutschen und europäischen Innovationssystems.

Innerhalb der Reihe: „Umwelt, Innovation, Beschäftigung“ sind Fallstudien zu den folgenden Themen erschienen: Solarthermische Stromerzeugung, CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung, Elektrische Energiespeicherung, Solares Kühlen, Energieeffiziente Rechenzentren, Biokunststoffe, Synthetische Biokraftstoffe, Hybride Antriebstechnik, Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement, Nachhaltige Wasserwirtschaft und Nanotechnologie, Stofferkennung und –trennung.

Die folgende Fallstudie fokussiert auf Entwicklungsstand und Perspektive der solarwärmegetriebenen Kältegewinnung. Als wesentliche Einflussgröße wird auch ein Blick auf die Verfügbarkeit von Solarkollektoren geworfen. Die Frage der Verteilung der Kühlleistung im Gebäude wird dagegen nicht verfolgt.

Durch die sich in den letzten Jahren häufenden Monate mit Rekordtemperaturen sowie durch die nach wie vor steigenden Komfortansprüche ist in Deutschland ein erhöhter Bedarf von klimatisierten Räumen absehbar. Noch wesentlich ausgeprägter ist diese Tendenz im Mittelmeerraum und in Südostasien.

In Gebäuden herkömmlicher Bautechnik wird die Klimatisierung meist durch elektrische Klimageräte hergestellt. Gegenwärtig werden weltweit jährlich etwa 60 Millionen Klimatisierungssysteme abgesetzt. Das Marktwachstum ist erheblich.

Aus Sichtweise des ökologischen Bauens kann diese Tendenz nicht befriedigen. Durch eine bessere Isolierung der Gebäude könnte z. B. die Kühlung durch Nachtlüftung zu einer wirksamen Absenkung der Raumtemperaturen auch tagsüber führen. Reicht dies nicht aus, lässt sich durch Nutzung der Kühle des Erdreichs über eine Erdsonde eine weitere Quelle von Kälte zur Sommerkühlung nutzen. Wirksam einsetzbar sind diese Techniken aber nur in modernen und gut isolierten Gebäuden. Herkömmliche Gebäude heizen sich in der Sonne so schnell und stark auf, dass solche Kältequellen kaum ausreichen. Wird hier eine Raumtemperatur von ganztags nicht über 26 Grad angestrebt, so wird auch zukünftig in vielen Gebäuden des Bestands eine weitere Kältequelle erforderlich sein.

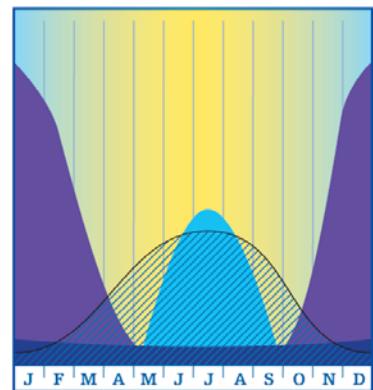
Eine solche Kältequelle stellt neben elektrischen Klimaanlagen z. B. das solare Kühlen dar. Auch das solare Kühlen ist aber nicht grundsätzlich in jedem herkömmlichen Gebäude einsetzbar. Die Verteilung der zentral über einen thermodynamischen Prozess erzeugten Kälte erfordert eine Wandheizung oder eine Kühlstrahldecke. Auch eine Kühlung von Luftströmen ist machbar, erfordert dann aber wieder eine Verteilung der gekühlten Luft nach Art einer Klimaanlage.

## 2 Potenziale der Technologielinie „solares Kühlen“

Herkömmliche Klimaanlagen arbeiten mit elektrisch betriebenen Kompressoren, die einen umso höheren Energiebedarf haben, je wärmer die zu kühlende Luft ist. Solare Kühlung nutzt Sonnenenergie und wandelt diese mit Hilfe verschiedener Kältemaschinen in Nutzkälte um.

Das solare Kühlen hat, anders als die solare Heizung, kein Speicherproblem: Der Kühlbedarf steigt und fällt nahezu zeitgleich mit dem Angebot an Sonnenenergie. Zusätzlich zu der ganzjährig solar darstellbaren Warmwasserversorgung nutzt das solare Kühlen eine bei vorhandenen Kollektoren in den Sommermonaten bereitstehende, aber weder durch Warmwasser noch durch Heizung benötigte Energiemenge<sup>1</sup>.

Abbildung 2-1: Angebot und Bedarf solarer Wärme



Quelle: ESTIF 2006a: 7

### 2.1 Die Technologie

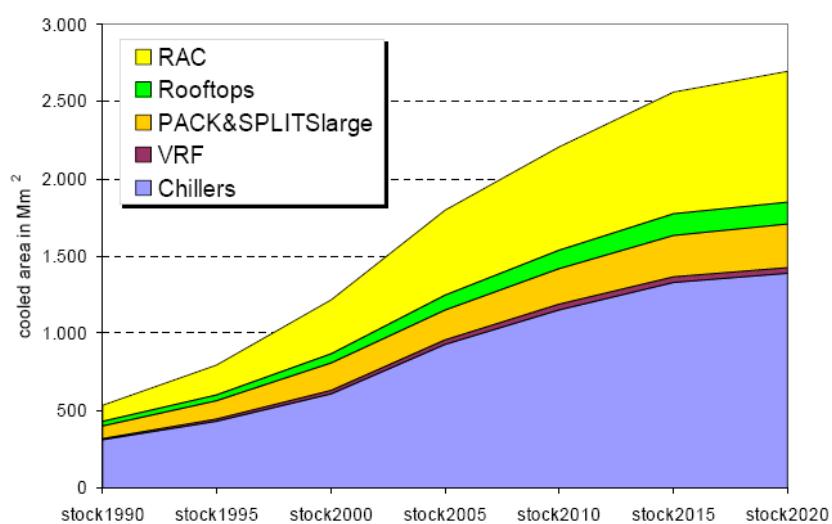
#### 2.1.1 Bisherige Systeme der Raumklimatisierung

Im europäischen Markt für Anlagen zur Raumkühlung werden eine Reihe technisch recht unterschiedlicher Anlagen eingesetzt. Generell werden unterschieden Room Air Conditioning (RAC) und Central Air Conditioning (CAC). Mobile Einheiten (Packs), zweiteilige Monosplits und Fenstereinheiten gehören zu den RACs, auf dem Dach angeordnete Komplettsysteme (Rooftops) und Kaltwassersätze (Chillers) versorgen als CACs meist ganze Gebäude mit Kälte, wobei zu dem Energieaufwand für das Kältegerät dann noch der Aufwand für die Verteilung über Pumpen oder Lüfter hinzukommt. VRF-Anlagen (variable refrigerant flow) stellen ein weiterentwickeltes Split-System dar, welches längere Leitungen, mehr Inneneinheiten und Wärmerückgewinnung ermöglicht sowie dem Benutzer die freie Wahl lässt, wann in welchen Räumen die Klimaanlage eingeschaltet sein soll.

<sup>1</sup> Der hellblaue Kegel in der Mitte der Abbildung stellt den Kältebedarf dar, die Schraffierte Fläche den solaren Ertrag und die violette Parabel den Heizwärmebedarf.

Alle Typen von Kühl- und Klimaanlagen treffen in Europa gegenwärtig auf wachsende Märkte. In 2005 betragen die gekühlten Gebäudeflächen etwa 420 Mio. m<sup>2</sup> in Italien, 340 Mio. m<sup>2</sup> in Spanien, 230 Mio. m<sup>2</sup> in Frankreich und 170 Mio. m<sup>2</sup> in Deutschland. Neben den privaten Haushalten dominieren Büroflächen, Handelsflächen und das Gastgewerbe (EECCAC 2003b: 9). Gegenüber anderen Weltregionen sind diese Zahlen jedoch klein.

Abbildung 2-2: Marktanteile unterschiedlicher Klimatisierungstechnologien bis 2020 bezogen auf die gekühlte Fläche in Mio. m<sup>2</sup> in Europa



Quelle: EECCAC 2003b: 52

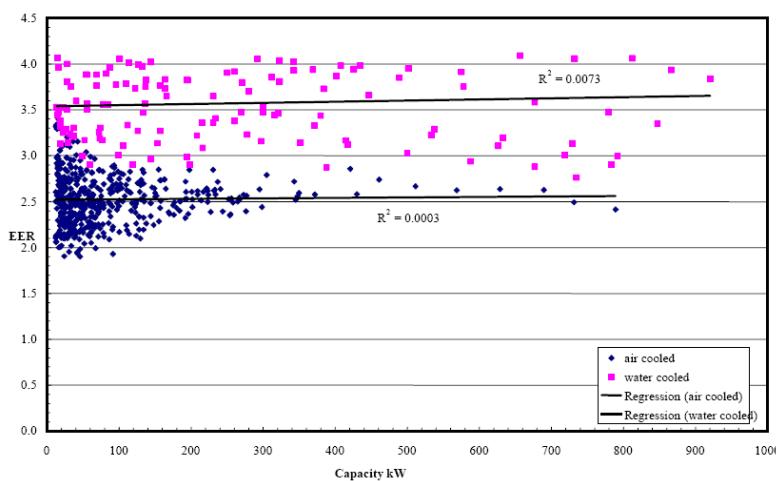
In den USA werden allein etwa 17 Mrd. m<sup>2</sup> Fläche in Privatwohnungen im Sommer gekühlt (EIA 2001), darüber hinaus ca. 8,5 Mrd. m<sup>2</sup> Gewerbegebäude (EECCAC 2003b: 14). Die entsprechenden Flächen in Japan dürften etwa bei 60 % davon liegen (abgeschätzt nach JRACIA 2005) und der Markt in Südostasien entwickelt sich nach Schätzungen der Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association (JRACIA 2005) - nachdem er noch in 2000 die selbe Größenordnung wie der US-Markt aufwies - auf etwa das dreifache US-Marktvolumen in 2008 (sic!). Die bedeutendsten Weltmärkte sind also:

- 1) Asien ohne Japan
- 2) USA
- 3) Japan
- 4) Europa

Tendenzen im Markt für Klimaanlagen weisen darauf hin, dass sich zur Reduzierung der Investitionssummen zentrale Anlagen schlechter, dezentrale Anlagen hingegen

besser verkaufen. Besonders große Marktwachstumszahlen haben Large Splits (+13,8 % p.a.) und VRF-Anlagen (+13 % p.a.) (EECCAC 2003b: 11). Betrachtet man nur die Kältemaschinen, so ist die Effizienz großer Anlagen etwas besser als die kleinerer Anlagen, wie die folgende Abbildung für Chillers (Kaltwassersätze) zeigt.

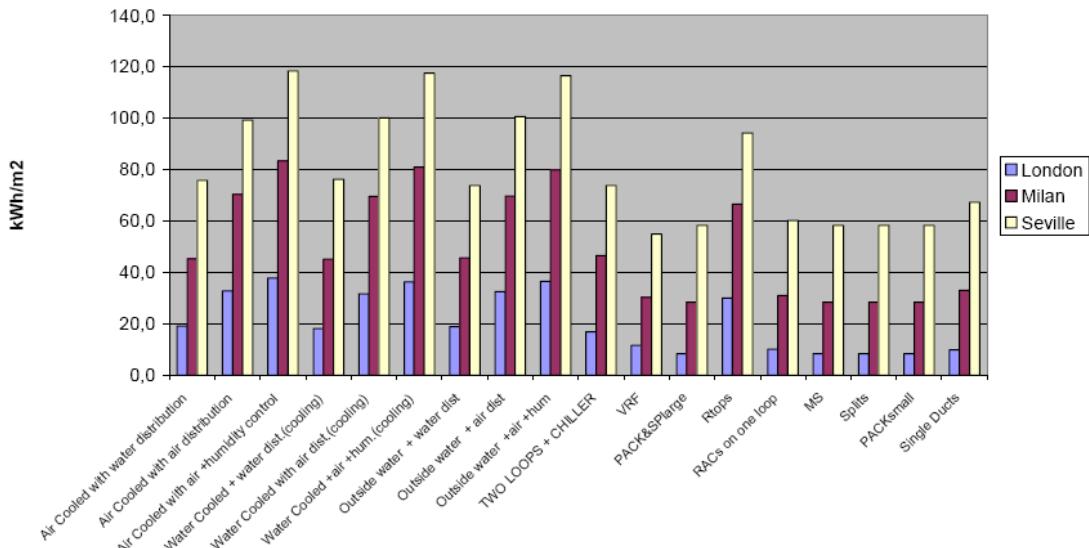
Abbildung 2-3: Energieeffizienz (Arbeitszahlen) für Chillers in Abhängigkeit ihrer Kapazität in kW und getrennt nach luft- und wassergekühlten Systemen



Quelle: EECCAC 2003a: 12

Wird aber nicht nur die Kälteanlage sondern das gesamte Klimasystem betrachtet, so stellt sich der Unterschied zwischen zentralen Anlagen und dezentralen Anlagen anders dar. Der Energieverbrauch bezogen auf den  $m^2$  gekühlter Fläche der VRF-Anlagen, Packages und Splits stellt sich generell niedriger dar als der Verbrauch der zentralen Anlagen. Die relativen Unterschiede sind dabei vom Standort (London, Mai-land, Sevilla) nicht abhängig.

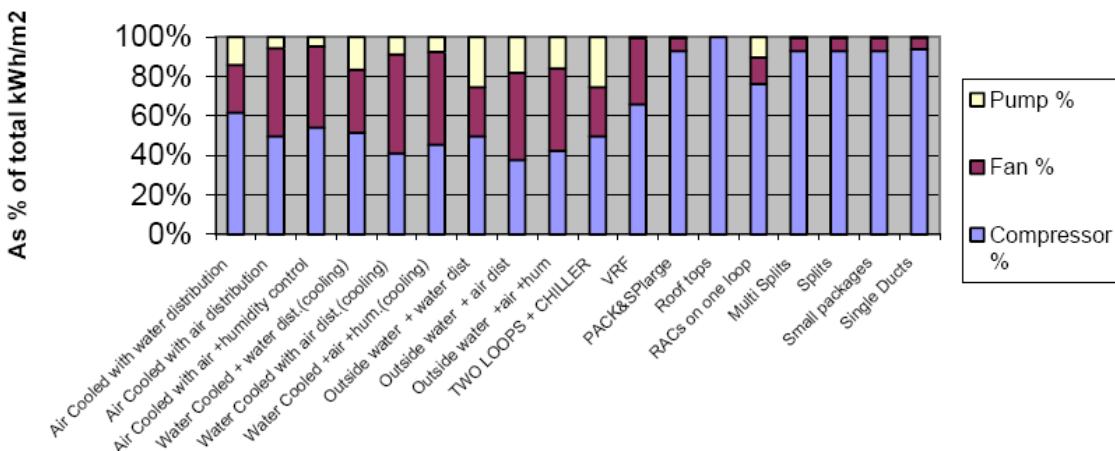
Abbildung 2-4: Spezifischer Energieverbrauch verschiedener Klimaanlagen in Bürogebäuden in Europa



Quelle: EECCAC 2003b: 57

Unterscheidet man dabei nun den Energieverbrauch für Pumpen, Lüfter und den eigentlichen Kühlprozess, so wird deutlich, wo die energetischen Schwachstellen liegen: Die Verteilung der Kälte kann letztlich mehr Energie verschlingen als die Erzeugung der Kälte. Bei den dezentralen Anlagen fallen diese Anteile am Energieverbrauch erwartungsgemäß kleiner aus. Trotz generell geringerer Arbeitszahl der Kältemaschinen ist ihr flächenbezogener Energieverbrauch daher geringer.

Abbildung 2-5: Anteile der Systemkomponenten am Energieverbrauch verschiedener Klimaanlagen in Bürogebäuden in Europa



Quelle: EECCAC 2003b: 57

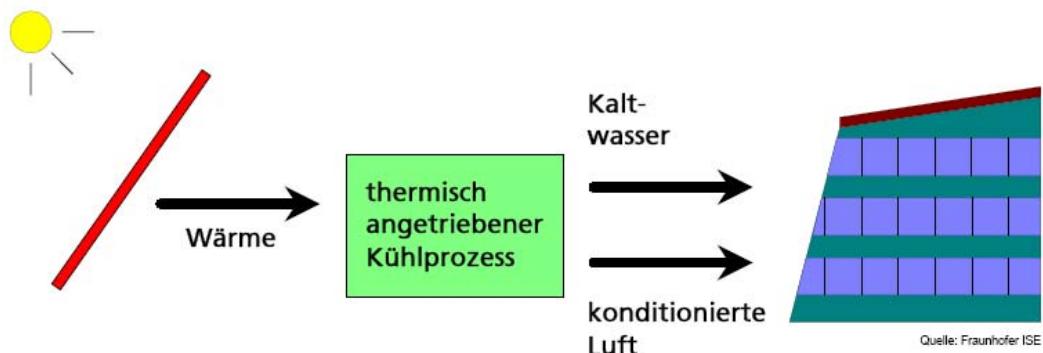
Auch die EECCAC-Forscher waren überrascht von dem hohen Anteil, die Pumpe und Lüfter am Gesamtenergieverbrauch erreichen können. Letztlich resümieren sie in der Empfehlung: „Our feeling is that the designers should keep the right to use whatever system they need to cope with the project specificities but that they should be obliged to improve the system chosen to reach a certain level of consumption“ (EECCAC 2003b: 59). Damit werden die zentralen Kriterien zur Beurteilung des solaren Kühlsystems deutlich:

- Erstens aus ökologischer Sicht der Energieverbrauch pro  $m^2$  gekühlter Fläche des Gesamtsystems inklusive Pumpen und Lüfter sowie
- zweitens aus ökonomischer Sicht die Kosten der Kühlung, in die aufgrund des hohen technischen Aufwandes der solaren Klimatisierung in nicht unwesentlichem Ausmaß die Abschreibungen eingehen.

### 2.1.2 Komponenten der Techniklinie solares Kühlen

Prinzipiell bestehen alle Anlagen der solaren Kühlung aus drei Komponenten: einem Solarkollektor, einer Kältemaschine sowie einer Anlage zur Kälteverteilung.

Abbildung 2-6: Grundprinzip der solaren Klimatisierung



Quelle: Henning 2006: 1

Als Kollektoren kommen im Wesentlichen der Flachkollektor (50 bis 80 °C Wassertemperatur) und der Vakuum-Röhrenkollektor (80 bis 150 °C) zum Einsatz. 1-achsig nachgeführte Kollektoren, mit denen noch höhere Wassertemperaturen erzielt werden können, wurden bereits in Prototypen erprobt.

Die solare Wärme kann zum Antrieb unterschiedlicher Kältemaschinen dienen. Primär werden eingesetzt:

- **Absorptionskältemaschinen,**

- **Adsorptionskältemaschinen**,
- **Sorptionsrotoren**.

Sowohl **Absorptionskältemaschinen** als auch **Adsorptionskältemaschinen** stellen geschlossene Systeme dar und werden mit Kühlwasserkreisläufen zur Verteilung der Kälte gekoppelt. Die Verteilung der Kälte kann dabei z. B. über Fußboden-, Decken – oder Wandkühlsysteme erfolgen. Sorptionsrotoren folgen einem offenen Prinzip, in dem die Zuluft direkt klimatisiert (d. h. temperatur- und feuchtereguliert) und im Gebäude verteilt wird.

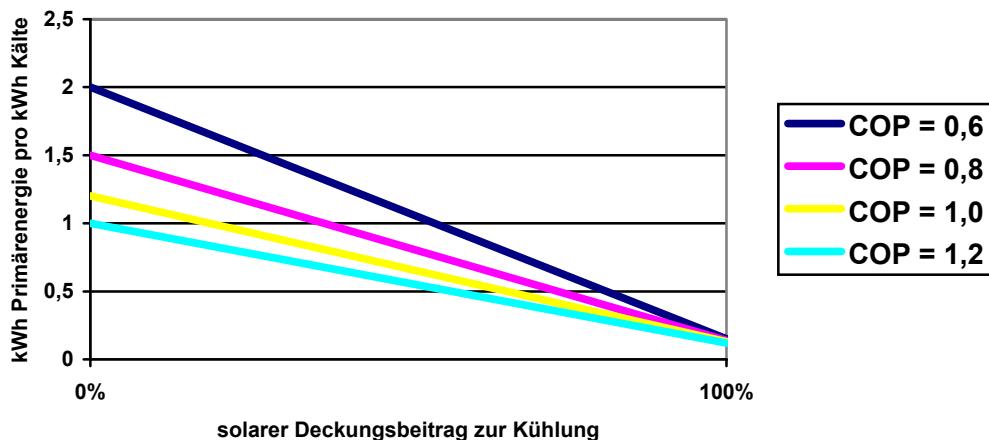
Tabelle 2-1: Überblick über die gängigsten Technologien zur solaren Kühlung

Auf dem Markt verfügbare Technologie	Absorptionskältemaschine	Adsorptionskältemaschine	sorptionsgestützte Klimatisierung
Methode	Geschlossener Kreislauf		Offener Kreislauf
Kältekreislauf	Geschlossener Kühlmittelkreislauf		Kühlmittel (Wasser) in direktem Kontakt mit der Atmosphäre
Verfahrensprinzip	Kaltwassererzeugung		Luftentfeuchtung und Verdunstungskühlung
Zustand Sorptionsmittel	flüssig	fest	fest
Typische Stoffsysteme	Wasser / Lithiumbromid Ammoniak / Wasser	Wasser / Silikagel	Wasser / Silikagel Wasser / Lithiumchlorid
Typische Kühlleistung (kW Kälte)	50 – 430 kW	5 kW – 5 MW	20 – 350 kW (pro Modul)

Quelle: eigene nach OÖE 2005: 10

In der Praxis ist es so, dass die solare Wärme nicht durchgängig zur Verfügung steht. Soll also die Kühlleistung auch dann erbracht werden können, wenn keine Sonnenwärme zur Verfügung steht, so ist eine zweite Wärmequelle nötig (z. B. Fernwärme oder Gasbrenner), mit dem die eingebaute Kältemaschine ebenfalls angetrieben werden kann. Weiterhin ist ein Wärmespeicher zum Überbrücken kurzfristiger Versorgungspässe zweckmäßig. In Abhängigkeit vom solaren Deckungsgrad ergeben sich dann Vor- oder auch Nachteile beim Primärenergieverbrauch. Das prinzipielle Problem zeigt die folgende Abbildung.

Abbildung 2-7: Relative Kälteleistung in Abhängigkeit vom solaren Deckungsgrad und dem Coefficient of Performance der eingesetzten Kältemaschine

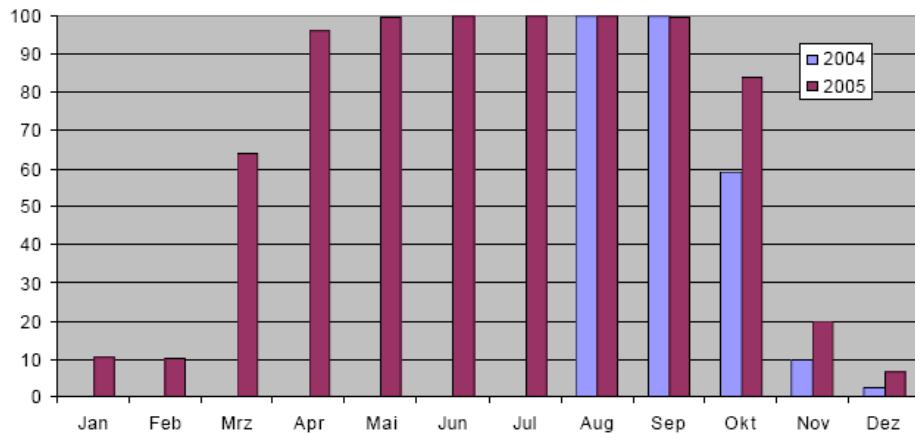


Quelle: In Anlehnung an BINE 2004

Es zeigt sich, dass bei Verwendung einer einstufigen Absorptionskälteanlage ( $COP = 0,6$ ) ein solarer Deckungsgrad in Höhe von etwa 50 % erforderlich ist, um eine Energieeinsparung gegenüber einer vollständig konventionellen Kompressionskälteerzeugung mit Primärenergieaufwand von 0,9 kWh/kWh (entspr.  $COP_{konv} = 3,5$ ) zu erzielen. Bei zweistufigen Anlagen ist das Verhältnis etwas günstiger.

Angaben zu realisierten solaren Deckungsbeiträgen, die wie bei der Solarthermie regionale Unterschiede aufweisen, sind noch rar. Für ein Projekt im Universitätsklinikum Freiburg dokumentiert BINE (2004: 6) einen solaren Deckungsbeitrag zur Kältebereitstellung im Sommer von rund 60 %. Ebenfalls aus Freiburg liegt eine Darstellung über den Jahresverlauf vor:

Abbildung 2-8: Solarer Deckungsgrad der ersten Pilotanlage mit solarer WärmeverSORGUNG am Fraunhofer Solar Building Innovation Center (SOBIC) in Freiburg



Quelle: Hindenburg 2006

Der Einsatz des solaren Kühls ist neben der Raumklimatisierung auch im Bereich der Industriekühllanlagen interessant. Für Kälte oberhalb von 6 Grad Celsius kommen hierfür Absorptionskältemaschinen mit dem Betriebsmittel Wasser/Lithiumbromid, darunter solche mit dem Betriebsmittel Ammoniak/Wasser in Frage.

Tabelle 2-2: Potenzielle Anwendungsfelder von Absorptionskältemaschinen in der Industriekälte

Anwendungen	Anzahl der Kälteanlagen	Nutzbereiche to [ °C ]				
		+ 6°C	0 °C	-10 °C	-30 °C	-50 °C
Lebensmittelindustrie	15.000	X	X	X	X	X
Brauereien	1.200			X		
Molkereien	250		X	X		
Kunststoffindustrie	6.200	X				
Metallindustrie	2.000	X				
Chemie	1.700	X	X	X	X	X
Logistikzentren, Lager	200	X	X	X	X	

Einsatzbereich von Wasser-LiBr-AKA

Einsatzbereich von NH<sub>3</sub>-Wasser AKA in Verbindung mit KWK

Quelle: Peetz 2007 nach ILK Dresden

Über den Antrieb durch solare Wärme hinaus kommt bei industriellen Anwendungen auch die Nutzung von Niedertemperaturwärme in Frage, die gerade in den Sommermonaten nicht für Heizzwecke benötigt wird. Erste Anwendungen zeigen, dass auch in Deutschland schon heute eine Wirtschaftlichkeit im Falle der Abwärmenutzung gegeben ist.

ben sein kann. Anwendungen in Südeuropa lassen auch auf eine Wirtschaftlichkeit ersterer Anwendungen in Kombination mit Solarkollektoren schließen.

### **2.1.3 Fazit Technologie solares Kühlen**

Nach Einschätzung von Akteuren des solaren Kühls ist der technische Entwicklungsstand

1. der Kollektoren „serienreif“,
2. der kleinen wärmegetriebenen Kältemaschinen zwischen „in Erprobung“ und „fast serienreif“, wobei die Großanlagen über 50 kW Kälteleistung allerdings bereits „serienreif“ sind,
3. des Systemengineering noch unausgereift. Hier mangelt es der Erfahrung vieler Einzelprojekte und gleichzeitig sind die Anforderungen an die Anwendungstechnik sehr hoch. Hier muss fundiertes Wissen über Gebäudetechnik, Solartechnik, Klimatechnik, Kältetechnik und Regelungstechnik vorhanden sein, was bei den aktiven Personen längere Lernprozesse voraussetzen dürfte.

Langfristig wird eine zweistufige Planungs- bzw. Beratungsstruktur erforderlich sein, in der einfache Aufgaben durch lokale Planungsbüros erledigt werden und die Hersteller der Kältemaschinen eine zentrale Anwendungstechnik für komplexe Fälle bereithalten.

Hinsichtlich der weiteren Entwicklung der wärmegetriebenen Kältemaschinen gelten folgende Entwicklungsziele:

- möglichst rasche Serienreife kleiner Maschinen mit Leistungen zwischen 2 und 5 kW, die in der Lage sind, die letztlich effizienteren Split-Systeme (vgl. Abbildung 2-4 und Abbildung 2-5) zu ersetzen (ESTTP 2006: 12),
- ein möglichster hoher Coefficient of Performance (COP) der wärmegetriebenen Kältemaschine sowie
- niedrige Anlagenkosten der technisch aufwendigen, wärmegetriebenen Kühlanlagen bei gleichzeitig hoher Lebensdauer und Zuverlässigkeit und die Realisierung der Kostenwirksamkeit der Skalenvorteile der zu erwartenden Serienproduktion. Im IKZ-Fachplaner wird geschätzt, dass das Investitionsvolumen noch um etwa 40 % sinken muss, um bei der heutigen Energiekostensituation eine Amortisation zu erreichen (IKZ 2006: 25).

Das Systemengineering muss sich weiterentwickeln in Richtung auf:

- eine integrierte Nutzung der Solarwärme für Heizung, Warmwasserversorgung und Sommerkühlung (Solar Combi Plus), nach Möglichkeit durch Angebot „schlüsselfertiger“ Systeme (ESTTP 2006: 12), wie sie seit Anfang 2007 durch Conergy offeriert werden (SWW 2007: 79),
- ein einfaches hydraulisches Schema, eine gute ingenieurtechnische Auslegung im Detail und einen guten hydraulischen Abgleich des Systems,
- die Optimierung der bedarfsabhängigen elektronischen Regelung im Rahmen einer intensiven Inbetriebnahmephase sowie eine dauerhafte Fernüberwachung der Anlagenfunktion, z. B. über das Internet.

Diese Optimierungsziele beziehen sich durchweg auf den solarbezogenen Technologieteil. Bei der Anwendung als zentrale Kälteanlage überschneiden sich die Technologie und die Anforderungen an deren Optimierung mit der Kompressionskältetechnik. Hier sind Optimierungspotenziale insbesondere im Bereich des hydraulischen Abgleichs und der Pumpen von Umwälzsystemen vorhanden.

Innerhalb der Wertschöpfungskette werden zur Produktion von wärmegetriebenen Kältemaschinen in erster Linie Bauteile nach Bauart von Wärmetauschern benötigt (Verdampfer, Kondensatoren etc., aber auch der u. U. erforderliche Kleinkühlturm), also Kombinationen von Blech- und Rohrteilen. Weiterhin werden elektrisch betriebene Pumpen und Betriebsmittel (z. B. Lithiumbromid, Ammoniak, Silikagel oder Lithiumchlorid) benötigt.

Tabelle 2-3: Beteiligte Wirtschaftssektoren

Komponente	Vorleistungen: Bezug außerhalb EU	Anteil Vorleistungen von außerhalb EU	Zuliefernde Branche	Anteil der Vorleistungen in %	Warenverzeichnis-Nr.
Wärmetauscher (Kondensatoren, Verdampfer, Kleinkühlturm etc.)	wahrscheinlich	?	H. v. Metallerzeugnissen (30)	60	84195000
Pumpen	?	?	H. v. Maschinen (31)	10	8413XXXX
Kältemittel	?	?	H. v. chemischen Erzeugnissen (22)	10	entfällt
Elektronik, -komponenten	wahrscheinlich	?	H. v. Erzeugn. der Medizin-, Meß-, Steuer- und Regelungstechnik (35)	10	8542XXXX
Sonstiges				10	entfällt

Quelle: eigene

### 2.1.4 Verortung im Innovationszyklus

Eigentlich ist das solare Kühlen eine erprobte Technologie, die seit den 70er Jahren in mittleren Stückzahlen in Japan eingesetzt wurde. So wurde der Hamamatsu Pressturm (siehe nebenstehende Abbildung von Kimura) schon 1985 mit solarer Warmwasserversorgung und solarer Klimatisierung ausgestattet, die auch nach 22 Jahren noch zuverlässig funktioniert (Niemeyer 2007). Eine 105 kW Absorptionskältemaschine wird durch 362 m<sup>2</sup> Kollektor versorgt und ist zur Kälteerzeugung mit 5 gasbefeuerten Kühlaggregaten kombiniert.



Große, wärmegetriebene Kältemaschinen sind seitdem in hohen Stückzahlen in Produktion und komplett serienreif. Sowohl die solare Energieversorgung wie auch die Produktion von Aggregaten kleiner Leistung wurde allerdings wieder eingestellt. Dementsprechend kann die solare Kühlung im Innovationszyklus erst (bzw. wiederum) an der Schwelle zur Diffusion verortet werden. Während einerseits noch viele Forschungsaktivitäten zur Entwicklung von wärmegetriebenen Kältemaschinen kleiner Leistung und zur Anwendungstechnik laufen, sind andererseits schon eine Reihe spezialisierter Start-Ups zu beobachten und erste Anbieter gehen mit ihren Produkten aktiv an die Bearbeitung des Marktes.

## 2.2 Nutzen für Umwelt und Gesellschaft

In Deutschland werden gegenwärtig ungefähr 66 Mrd. kWh Strom und 11 Mrd. kWh nichtelektrischer Energie für die technische Kälteerzeugung verwendet (BINE 2006: 1). Zur Klimatisierung von Gebäuden, in erster Linie Bürogebäuden, werden hiervon ca. 22 % eingesetzt (BINE 2006: 1). Dies entspricht 3 % des deutschen Strombedarfs und 1,3 % des Primärenergieverbrauchs. Der Ausstattungsgrad mit Klimageräten privater Haushalte liegt noch erfreulich niedrig bei ca. 1,4 % (Fraunhofer ISI 2004: 70).

In der Schweiz zeigen fundierte Abschätzungen (Aebischer 2006) einen Anteil der Klimatisierung von 7 % an der Stromnachfrage. Für 2035 wird von einem Ausstattungsgrad privater Haushalte mit Klimageräten von 50 % ausgegangen. In den USA sind in 2001 schon 75,5 % der privaten Haushalte mit elektrischen Klimageräten ausgestattet (EIA 2001). Der Energieverbrauch für die Klimatisierung liegt dort bei ca. 2.260 kWh/a pro Haushalt und erreicht damit etwa 60 % des Gesamtstromverbrauchs der Haushalte in Deutschland (EIA 2001).

Es ist daher nicht schwer, die Klimatisierung als eine Art Damoklesschwert des Energieverbrauchs zu sehen. Mit steigenden Sommertemperaturen ist eine weitere Verbreitung dieser Technologie kaum aufzuhalten. Wenn die heutige Klimatisierungstechnik 2030 eingesetzt würde und ihr Verbreitungsgrad wie befürchtet steigt, würden bis zu 15 % der Stromerzeugung in Deutschland in die Klimatisierung gehen. Damit wird die Umweltrelevanz solarer Kühlung direkt deutlich.

Der Lösungsbeitrag der solaren Kühlung liegt darin, als Antrieb der Kühlaggregate solare Wärme statt Strom einzusetzen. Statt einer hohen elektrischen Leistung für die Kühlanlage kann so der Verbrauch an elektrischer Energie auf die Antriebe von Pumpen und Lüftern beschränkt werden. Henning (2007) schätzt Primärenergiesparpotenziale von 40 bis 60 % für gut ausgelegte Kaltwassersysteme und 20 bis 50 % für die offenen Systeme der Klimatisierung mittels Sorptionstechnik. Das die Einsparpotenziale nicht noch höher liegen hat seinen Grund in dem letztlich durch die Kosten der Kollektoren begrenzten solaren Deckungsbeitrag sowie durch den zur Verteilung der Kälte im Gebäude notwendigen Energieinput.

Große zentrale Kühlanlagen könnten bessere Arbeitszahlen aufweisen als kleine dezentrale Anlagen. Die hieraus resultierenden energetischen Vorteile dürften allerdings durch den Energieverbrauch der Kälteverteilung durch Wasser- oder Luftsysteme wieder zunichte gemacht werden.

Der zentrale Nebeneffekt der Technologie liegt darin, dass sie gerade in Zeiten sommerlicher Spitzenlast den Stromverbrauch senkt und damit die Versorgungssicherheit erhöht.

Ein weiterer Nutzeffekt der serienreifen Entwicklung solarer Kühlaggregate liegt darin, dass statt solarer Wärme zum Antrieb auch Fernwärme oder Restwärme aus BHKW eingesetzt werden können, so dass die gleiche Technologie damit im Sommer kaum sinnvoll einsetzbare Wärmemengen einer Nutzung erschließt. Dies ist besonders dann von Belang, wenn die zusätzliche Investition in Kollektoren das solare Kühlen unwirtschaftlich machen würde.

## 2.3 Wirtschaftliche Potenziale

Die Akteure des solaren Kühls, auf langfristige Marktvolumina angesprochen, reagieren noch unsicher. Einzelmeinungen erwarten einen hohen Exportanteil (genannt wurden 60 bis 70 %) in Zielländer in Südeuropa, aber auch in Asien und den USA oder Australien. In 2008 seien „ein paar Millionen €“ umsetzbar. Absatzchancen in Südeuropa vermuten Henning (2007) und der IKZ-Fachplaner (2006: 25).

Gegenwärtig werden jährlich etwa 60 Millionen Klimatisierungssysteme abgesetzt (JRACIA 2005). Wenn die gekühlte Fläche, wie von EECCAC (2003b: 52) für Europa angenommen, bis 2020 gegenüber 2005 um ca. 50 % zunimmt, so ist auch von einer 50 % Steigerung des Absatzes an Klimatisierungsanlagen auf ca. 90 Millionen Systeme jährlich auszugehen. Da die JRACIA (2005) allein in der Zeit zwischen 2000 und 2005 ein 50 %-iges Wachstum des Weltmarktes dokumentiert, dürfte die Veranschlagung eines weiteren Wachstums von 50 % bis 2020 eher konservativ sein.

Wenn weiterhin die European Solar Thermal Technology Platform (ESTTP 2006: 5) mit der Vision richtig liegt, bis 2030 immerhin 50 % des Bedarfs an Niedertemperatur-Heizung und -Kühlung solar bereitzustellen, dann ist schon 2020 mit erheblichen Marktanteilen solarer Kühlsysteme zu rechnen. Soll das 2030-Ziel realistisch sein, müsste für 2020 ein Etappenziel von mindestens 20 % erreicht werden, mit einem Viertel davon, also 5 %, wäre minimal zu rechnen. Dies würde von 2020 bis 2030 ein 7 %-Wachstum eines schon dann recht entwickelten Marktes bedeuten.

CENERG (2007) gibt für das Jahr 2000, bei 39,7 Millionen verkauften Systemen, einen Weltmarkt von 35 Milliarden US-\$ an. Pro System ergeben sich Umsätze von knapp 900 US-\$ oder 750 €. Simader (2005) dokumentiert einen detaillierten Kostenvergleich der darauf hinausläuft, dass aufgrund niedrigerer Energiekosten höhere Preise für solare Klimageräte möglich sind. In einer von ihm untersuchten DEC-Anlage beläuft sich dieser höhere Investitionswert auf ca. 20 %. Würde diese Anlage mit einem solaren Deckungsgrad von 60 % betrieben, so steige der zusätzliche Investitionswert auf ca. 40 %.

Bei einem möglichen Solar-Marktanteil von 5 bis 20 % von 90 Millionen Kühlsystemen<sup>2</sup> wären dann 4,5 bis 18 Millionen Solar-Systeme in 2020 absetzbar. Bei Systemkosten von 750 € plus 20 % wären das dann 900 €, bei plus 40 % 1.050 €.

**Es ergäbe sich ein finanzielles Marktvolumen für Geräte der solaren Klimatisierung von 4,5 bis 18 Milliarden € in 2020.**

Der kurzfristig erschließbare Markt wird eher in kommerziellen Anwendungen in Bürogebäuden, Hotels und im Einzelhandel gesehen. Für den Fall einer realisierbaren Kosten senkung um 50 % von im Einfamilienhaus einsetzbaren 5 kW-Anlagen besteht eine zusätzliche Marktchance darin, diese an diejenigen Hausbesitzer zu verkaufen, die bereits über eine Kollektoranlage verfügen. Hier würde sich dann relativ rasch ein erster Massenmarkt öffnen (Hindenburg 2007), denn weltweit werden bereits 45 Millionen

---

<sup>2</sup> Ein Interviewpartner schätzt den bis 2020 erreichbaren Marktanteil auf max. 10 %, was aber auch noch 9 Mrd. € in 2020 entsprechen würde.

Haushalte über solare Dachanlagen mit Warmwasser versorgt, allein in Deutschland sind es Ende 2006 schon 940.000 Anlagen (BSW 2007). Der BSW prognostiziert für das Jahr 2020 in Deutschland 10 Millionen solarthermische Anlagen.

Die Zielländer des Exports orientieren sich einerseits an den gegenwärtigen Hauptabsatzmärkten für Klimaanlagen. Dies sind die Staaten Südostasiens (50 %), Nordamerika (20 %), Japan (12,5 %) und Europa (10 %). Andererseits wird sich die solare Kühlung besonders dort etablieren, wo die Investitionskosten niedrig sind. Dies gilt einerseits für Regionen mit hoher Sonneneinstrahlung, andererseits für Regionen, in denen eine Verpflichtung zur Installation von Solarkollektoren besteht und insoweit die doppelte Kostenschwelle einer teuren Klimatisierungsanlage *und* einer teuren Kollektoranlage fortfällt. Im europäischen Raum liegen diese Länder im Mittelmeerraum (vgl. Abschnitte „Akteursanalyse Forschung“ und „Rahmenbedingungen und Regulierung“).

Mit Blick auf ausgewählte, im Global Competitiveness Report (WEF 2006) erhobenen Indikatoren für Humankapital, technologische Absorptionsfähigkeit, innovationsfreundliche Rahmenbedingungen und ökologische Nachhaltigkeit lassen sich die gegenwärtig in Anwendung und Herstellung von Anlagen der Solarthermie und des solaren Kühlens aktiven Länder in zwei wesentliche Gruppen und eine Zwischengruppe teilen:

1. Zum einen sind mit Deutschland, Japan, Österreich und Schweden Länder aktiv, die über durchgängig sehr hohe Bewertungen aller vier Indikatoren verfügen. Mit Ausnahme von Schweden (nur ein Hersteller für solares Kühlen bekannt, wenig Kühlbedarf) entwickeln sich gegenwärtig besonders in Deutschland und Österreich gegenwärtig Leitmärkte für das solare Kühlen. Japan hatte diese Leitmarktfunktion in den 70er Jahren, ist aber seitdem wieder zurückgefallen.
2. Mit den USA und Frankreich folgt die Zwischengruppe, die insgesamt etwas, besonders aber hinsichtlich der ökologischen Nachhaltigkeit schlechter bewertet wird. Einschlägig im solaren Kühlen aktive Akteure wurden in diesen beiden Ländern nicht identifiziert. Besonders die USA sind aber eine prädestinierte Anwendernation.
3. Mit deutlichem Abstand bei wiederum allen vier Indikatoren folgen Spanien, Griechenland, Italien und China. Besonders in Spanien entwickelt sich aufgrund förderlicher gesetzlicher Rahmenbedingungen (s.u.) ein potenzieller Markt, der von den regionalen Herstellern (in Spanien und Portugal ist jeweils einer bekannt) kaum allein bedient werden wird.

### 3 Leistungsfähigkeit der wichtigsten Länder in der betrachteten Techniklinie

Mit Blick auf die Anwendung der Solarthermie hat die internationale Energieagentur eine Karte der technologieführenden Nationen erstellt, deren einziger erkennbarer Indikator die derzeitig solarthermisch produzierte Energiemenge in Ktoe (Thousands tons of oil equivalent) ist.

Abbildung 3-1: Technologiemarktführer Solarthermie aus Sicht der IEA



Quelle: IEA 2007

Die überraschend gute Position der USA lässt sich auch über die dort installierte Kapazität solarthermischer Kraftwerke mit einer Energieproduktion von knapp 0,85 TWh<sub>el</sub> (Greenpeace/Estia 2005) nicht erklären. Die Daten verwundern auch insoweit, als die Bank Sarasin (2006) unter Bezugnahme auf Werner Koldehoff (2006) von folgender Verteilung der Solarthermiekapazität – ohne solarthermische Kraftwerke – ausgeht:

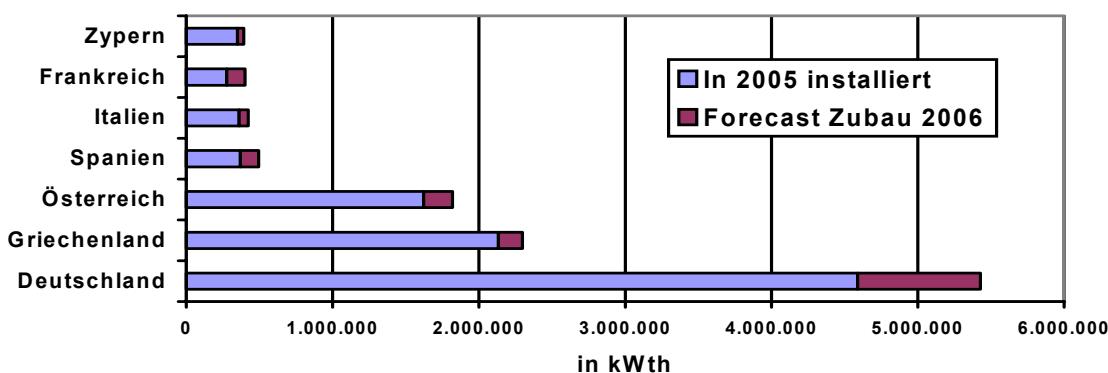
Tabelle 3-1: Verteilung der Solarthermieleistung und neu installierte Kapazität 2005

Land	Kapazität in Betrieb in %	Anteil an der neu installierten Kapazität	
		in MW <sub>th</sub>	in %
China	62	10.500	76,5
Europa	14	1.416	10,3
Türkei	7	336	2,4
Israel	7	252	1,8
Japan	4	203	1,5
Australien und Neuseeland	1,5	154	1,1
USA und Canada	1,5	84	0,6
Rest of World	3	784	5,8

Quelle: Bank Sarasin 2006 nach W.B. Koldehoff 2006

Das von der IEA gar nicht erwähnte China dominiert aus Sicht der Bank Sarasin den Kollektorenmarkt. Dort werden für den Privatgebrauch überwiegend Solaranlagen mit einfacher Anlagentechnik zur Trinkwassererwärmung nachgefragt (BBT 2007). Der Großanwender USA, den es aus Sicht der IEA gibt, ist demgegenüber aus Sicht der Bank Sarasin fast ohne Belang. Er spielt weder in der vorhandenen noch in der installierten Kapazität eine Rolle. Mit Blick auf Europa sehen beide Analysen eine gute Position im Mittelfeld. Innerhalb Europas verteilte sich die installierte Kapazität 2005 und der Absatz von Solarkollektoren 2006 wie folgt:

Abbildung 3-2: Installierte Solarkollektoren in Europa 2005 und Zubau 2006



Quelle: ESTIF 2006b: 4

Es wird deutlich, dass in Europa Deutschland, Griechenland und Österreich Skalenvorteile realisiert haben, die außerhalb Europas nur in China übertroffen werden. Mit Bezug auf das solare Kühlen hat dies insoweit Bedeutung, als die Investition in eine Anlage des solaren Kühlsystems bei Vorhandensein eines Kollektors entsprechend niedriger ausfällt. Als technologische Basis für das solare Kühlen sind Solarkollektoren allerdings wohl besonders in denjenigen Ländern hilfreich, die auch über innovationsfreundliche Rahmenbedingungen und eine hohe technologische Absorptionsfähigkeit verfügen. In dieser Gruppe finden sich von den „Intensivanwendern“ nur Deutschland, Österreich und Japan (vgl. Abschnitt „wirtschaftliche Potenziale“). Diese Länder dürften insbesondere für die Ausbildung eines Leitmarktes geeignet sein. Als kurz- bis mittelfristige Exportmärkte könnten dann Israel, Griechenland, die Türkei und sicher auch China dazu kommen.

Das Potenzial europäischer Länder für die Know-How intensive Technologie des solaren Kühlsystems ist auch aus Sicht der Branchenanalysen der EU-Kommission plausibel: „Eine besondere Stärke der EU im Maschinenbau liegt in Know-How intensiven, kundenorientierten Lösungen, die sich durch eine hohe Qualität und Zuverlässigkeit auszeichnen, darunter die Lieferung von Spezialausrüstungen und schlüsselfertigen Anla-

gen. Ein entscheidender Vorteil ergibt sich auch aus der Tatsache, dass die EU weltweit der größte Markt für Maschinenbauerzeugnisse ist“ (Generaldirektion Unternehmen und Industrie 2006: 75).

## 4 Innovationssystem und marktführende Unternehmen in den führenden Ländern

### 4.1 Akteursanalyse

Die Akteursanalyse wird für die zwei zentralen technischen Komponenten der solaren Kühlung vorgenommen: die Solarkollektoren und die wärmegetriebenen Kältemaschinen. Weiterhin wird ein Blick auf die Forschung geworfen.

#### 4.1.1 Akteursanalyse Solarkollektoren

Die wichtigsten Produzenten sind auf die wesentlichen europäischen Anwendernationen verteilt. 9 von 15 Anbietern sind deutsch. Sie produzierten 2006 zusammen mehr als 2/3 der neu installierten Kollektoren in EU. (gesamt ca. 2.800.000 m<sup>2</sup>)

Tabelle 4-1: Wichtigste, in Europa tätige Solarkollektoren-Hersteller

Unternehmen	Produktion 2004 (2006**)		Umsatz 2004		Mitarbeiter 2004	
	Tsd. m <sup>2</sup> Kollektorfäche	produzierte Typen	Mio. €	davon Solarthermie	total	davon Solarther.
GreenOneTec (AT)	310 780**	(FK/A/RK)	28	100 %	150	150
Viessmann (DE)	150 340**	(FK/RK)	1'250	<6 %	7'000	110
KBB (DE)	150 320**	(A/FK)	7	100 %	28	28
Rheem/Solahart (AUS)	320	(TS/FK/RK)	400	ca. 15 %	430	190
Bosch Buderus (DE)	135 250**	(FK/RK)	2'500	<3 %	13'000	150
Chromagen (Israel)	160 210**	(FK/TS)	28	100 %	190	190
Schüco (DE)	60 200**	(FK)	1'300	<4 %	4'500	100
Solvis (DE)	160**	(A/FK/RK)	47**	22**	170**	100**
Wagner Solar (DE)	80 160**	(FK/A/RK)	82 180**	ca. 40 %	160	100
Huemer Gruppe (AT)	75 110**	(A/FK/RK)	12	100 %	53	53
Giordano (F)	70	(A/TS/FK)	30	85 %	230	213
Paradigma/Ritter (DE)	35 100**	(RK)	42	ca. 50 %	275	50
Thermomax (UK)	38 90**	(RK)	16	100 %	120	120
Pro Solar (DE)	25 50**	(FK/RK)	11	100 %	45	45
Schott-Rohrglas (DE)	10 25**	(RK)	180	k.A.	1'300	80

Quelle: Bank Sarasin 2005 S. 33 - Produktionsmengen aktualisiert aus Koldehoff 2007

Weiter sind als bedeutende Zulieferer die größten, in Europa tätigen Absorber-Coating-Unternehmen Alanod-Sunselect & MiroTherm, BlueTec, TiNOX (alle DE), Sunstrip (SE) und ESE (BE) mit blauen Schichten sowie ChromCoat (DK) und Innovar (CH) zu nennen. Die Unternehmen haben zusammen in 2006 mehr als 3,1 Millionen m<sup>2</sup> Absorberfläche beschichtet.

Die Kollektorenhersteller sind zu einem Teil Gründungen, die sich mit ökologisch-politischer Mission an die Entwicklung ökologischer Technik gemacht haben. Dies spiegelt sich u. a. auch in der Vision des 1991 gegründeten Marktführers GreenOne-Tec, lässt sich aber auch in der zusätzlich zu Ökologie auf Mitarbeiterbeteiligung und Eigenverantwortung orientierten Solvis erkennen, die auf das Gründungsjahr 1982 zurückgeht. Auch die ebenfalls Anfang der 80er Jahre gegründete Wagner & Co ist ein Unternehmen im Mitarbeiterbesitz mit explizit ökologischer Zielsetzung.

VELUX (VKR-Industries, DK) ist seit 1999 als „Seiteneinsteiger“ in den Markt der solarthermischen Systeme eingestiegen. VELUX ist mit 50 % an Green-One-Tec beteiligt und über seine Beteiligungen Marktführer im Kollektormarkt in der EU. Die Konsolidierung des Marktes ist noch längst nicht abgeschlossen, wie das Beispiel Conergy in 2006 gezeigt hat (umfänglicher Einstieg in die SolarThermie durch gezielte Akquisitionen in Österreich, Belgien und Australien).

In der frühen Phase der Solarthermie in den 70er Jahren waren neben einigen Start-Ups mit Viessmann und Buderus auch etablierte Thermotechnik-Unternehmen aktiv. Diese stiegen in den 80er Jahren angesichts technischer Probleme, niedriger Energiepreise und schwacher Märkte wieder aus. Die Mittelständler führten die Technologie fort und erreichten ab Anfang der 90er einen Neuaufschwung. Seit 1995 befindet sich die Branche ähnlich der Windenergie in der Phase von Übernahmen und Konsolidierungen.

Buderus hat 1997 das 1978 gegründete Unternehmen Solar Diamant übernommen. Die börsennotierte Buderus wurde dann im Juli 2003 faktisch von der Bosch-Gruppe übernommen und es entstand BBT als europäischer Marktführer für Thermotechnik-Produkte mit zumindest erheblichem Engagement in der Solarthermie. Ähnlich Bosch-Buderus sind mittlerweile die großen Thermotechnik-Unternehmen Vaillant (1997 in die Solarthermie eingestiegen) und Viessmann (Anfang der 90er zum zweiten mal wieder eingestiegen) in der Solarthermie aktiv.

Die großen Hersteller von Thermotechnik sind zwar inzwischen vielfach international aufgestellt, konzentrieren sich dabei jedoch oft auf ihre Heimatregionen. Allerdings ist Viessmann mittlerweile auch Marktführer in Frankreich und hat zusammen mit Vaillant und Bosch-Buderus deutliche Marktanteile in Spanien und Italien. Wirklich global agie-

rende Thermotechnik-Hersteller mit nennenswerten Marktanteilen auf den drei großen kontinentalen Märkten Nordamerika, Asien und Europa gibt es bisher nicht. In Europa dominieren vor allem deutsche Anbieter. Mit der BBT-Thermotechnik (ca. 2,6 Mrd. € Umsatz), der Vaillant Gruppe (ca. 1,6 Mrd. €) und den Viessmann Werken (ca. 1,2 Mrd. €) liegen drei Hersteller aus Deutschland auf den ersten Plätzen, gefolgt von der italienischen MTS Group und der britischen Baxi Group (vgl. BBT 2007).

BBT sieht den Markt für Systeme zur Nutzung regenerativer Energien als Wachstumssegment der Heiztechnikbranche. Noch sei der Markt stark fragmentiert und kleine Hersteller spielten regional eine große Rolle. Neben den großen Thermotechnik-Herstellern werden aber auch branchenangrenzende Unternehmen wie Anbieter von Gebäudehüllen und Pumpen in diesen Bereichen aktiv (BBT 2007).

Das weltweite Marktvolumen für Solarthermie-Systeme wird durch BBT für 2005 auf etwa 1,2 Milliarden Euro geschätzt. Europa bleibt mittelfristig die wichtigste Absatzregion für europäische Hersteller. BBT erwartet dort ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 8,2 Prozent bis 2013 (BBT 2007).

#### **4.1.2 Akteursanalyse wärmegetriebene Kältemaschinen**

Wärmegetriebene Kältemaschinen werden von einer Reihe maschinenbaulicher Spezialisten seit ungefähr 50 Jahren produziert. Größtenteils waren diese für den Antrieb mit einem Heizbrenner, z. B. auf Gasbasis, konstruiert. Dies versprach auch früher schon Kostenvorteile, da die kWh Gas schon lange preiswerter ist als die kWh Elektrizität.

Erst seit den 70er Jahren wurden die ersten Anlagen für den Antrieb mit Niedertemperaturwärme umkonstruiert. Sowohl industrielle Abwärme als auch Solarenergie wurden so als Antriebenergie nutzbar. Die ersten Anlagen für Solarbetrieb – Absorptionskältemaschinen – wurden im Kontext eines japanischen Förderprogramms in den 70er Jahren für das solare Kühlen eingesetzt. Die Wärme wurde mit optimierten Solarkollektoren bei ca. 100 °C gewonnen. Über 300 Gebäude wurden mit staatlichen Zuschüssen ausgerüstet, viele jedoch nach Auslaufen der Zuschüsse wieder abgebaut (Kimura 2004). Das Unternehmen Yazaki produzierte damals auch bereits Kleinanlagen mit 4,5 kW und 7 kW Leistung, deren Verkaufsstückzahlen allerdings nicht ausreichend waren (Yazaki 2003).

Der Weltmarkt für Großabsorber umfasst ca. 6.000 Anlagen pro Jahr (Simader 2005). Von den insgesamt 22 Herstellern von Absorptionsmaschinen, die identifiziert werden konnten, liefern nur neun, mit Ausnahme von Yazaki junge Unternehmen, von der Antriebstemperatur her für solare Energie geeignete Maschinen.

Tabelle 4-2: Hersteller von Absorptionskältemaschinen

Hersteller	Land	Produkte mit Kälteleistung (kW)	Internet	Absorptionskühler seit ca.	Technische Eigenschaften und Entwicklungsstatus
Solarfrost AT Econic systems (Partner)	Österreich	2 bis 10	<a href="http://www.solarfrost.com">www.solarfrost.com</a>	1996	150W Stromverbrauch, Ammoniak-Wasser, Erprobungsphase
Rotartica S.A.	Spanien	4,5 kW (5 bis 10)	<a href="http://www.rotartica.com">www.rotartica.com</a>	Gas 1993, solar 2000	Solar & Biogas, cop 0,7, 2-Kammern, Luft-Wasser, LiBr, 300W Stromverbrauch
AO-Sol	Portugal	5	<a href="http://www.aosol.pt">www.aosol.pt</a>		Experimentalstadium für Privatwohnungen von 100 bis 200 m <sup>2</sup> , Ammoniak/Wasser
Broad	China	5 bis 11.000	<a href="http://www.broad.com">www.broad.com</a>	1991	10.000 Einheiten in China im Einsatz
Pink Behältertechnik	Österreich	6 & 10	<a href="http://www.pink-behaeltertechnik.at">www.pink-behaeltertechnik.at</a>	2003	200W Stromaufnahme, Ammoniak-Wasser, 10 kW, Pilotprojekte/ Erstanwendungen realisiert
SK Sonnen Klima GmbH Enus	Deutschland Spanien	10	<a href="http://www.sonnenklima.de">www.sonnenklima.de</a>	2002	LiBr-Wasser, Erstanwendungen realisiert
Climate Well	Schweden	10	<a href="http://www.climatewell.com">www.climatewell.com</a>	1975/ 2001	Spezielle LiCl-Technologie incl. Wärme- und Kältespeicherfunktion, 106W Stromverbrauch
EAW	Deutschland	15 bis 54 (200)	<a href="http://www.eaw-energieanlagenbau.de">www.eaw-energieanlagenbau.de</a>	2003	LiBr-Wasser, 300W Stromverbrauch,
Yazaki	Japan	35 bis 105	<a href="http://www.yazakienergy.com">www.yazakienergy.com</a>	1970	100.000 Einheiten weltweit im Einsatz, nur Kühlen oder mit Heizung, für Solar geeignet (Hersteller bietet kein Komplettsystem an), LiBr-Wasser
Carrier (UTC)	USA	17 bis 5280	<a href="http://www.carrier.com">www.carrier.com</a>		Weltmarktführer in AirConditioning, Bsp. 17 kW: Metan oder LPG Antrieb; Ammonium-H <sub>2</sub> O, Kombi-Gerät Wärme/Kälte
Robur S.p.A.	Bergamo/ Italien	17 bis 88 (970)	<a href="http://www.robur.com">www.robur.com</a>	1991	Spezialist für gasbetriebene Kältemaschinen mit WRG, COP 1,6 (Gas), noch nicht auf solare Wärme optimiert
Kyoungwon-Century America, Inc. Finetec-Century	USA Korea	80 bis 1500	<a href="http://www.century.co.kr">www.century.co.kr</a>	2002 1985	Heißwassergetriebener Absorptionskühler, COP 0,725, div. Größen Absorptionskühl-/heizgerät
Colibri b.v.	Niederlande	150 kW bis 6,5 MW	<a href="http://www.colibri-bv.com">www.colibri-bv.com</a>	1981	Ammonium-H <sub>2</sub> O, nur Industrieanlagen – Kälteproduktion bis -60°C
Ebara	Japan	150 kW bis 5,2MW	<a href="http://www.ers.ebara.com">www.ers.ebara.com</a>	1963	Erster LiBr – Kühler 1963 (!)
Entropie GmbH	Deutschland/ Frankreich	300 kW bis 7MW	<a href="http://www.entropie.com">www.entropie.com</a>	1995	speziell für Nutzung von Abwärme optimiert
Luftkühler GmbH	Deutschland	300 bis 3600	<a href="http://www.gea-luftkuehler.de">www.gea-luftkuehler.de</a>	1921	Luft- und Verdunstungskühler, speziell für Nutzung von Abwärme optimiert, 1996 Ausgliederung Umwelttechnik
York/ Johnson Controls	USA	35 bis 4800	<a href="http://www.york.com">www.york.com</a>		Absorptionstechnologie nur im Industriebereich, LiBr-H <sub>2</sub> O, COP 1,2 (!), 80 – 120°C, kleinstes Gerät für Solar, sonst BHKW-Koppelung mögl.

Sari Puya Co.	Iran	350 bis 4900 kW	<a href="http://saripuya.20un.com">http://saripuya.20un.com</a>	2001	LiBr – Wasser, direkt % indirekt „abgefeuert“
Trane	USA	2000 bis 4800	<a href="http://www.trane.com">www.trane.com</a>	1950	LiBr, COP bis 1 (direkt befeuert)
Mitsubishi Heavy Industries	Japan	3500 bis 8800	<a href="http://www.mhi.co.jp">www.mhi.co.jp</a>		
My-com/Mayekawa	Japan	große Einheiten	<a href="http://www.mycomj.co.jp">www.mycomj.co.jp</a>	Ca. 1982	
Dalian Sanyo Refrigeration	China	sehr große Einheiten	<a href="http://www.dl-sanyo.cn">www.dl-sanyo.cn</a>	1992	LiBr

Quelle: eigene Recherchen, [www.heatpumpcentre.org/Projects/Annex\\_24\\_Manufacturers.asp](http://www.heatpumpcentre.org/Projects/Annex_24_Manufacturers.asp), Unternehmenswebsites, BINE 2004.

Einige Anbieter sind schon recht stark auf die Anwendung des solaren Kühls ausgerichtet, andere sehen in den Absorptionskälte eher ein Element des „sonstigen Maschinenbaus“, wie es z. B. aus der Webseite von Mycom in Japan deutlich wird.

### MYCOM Products Information



#### MYPRO Series Controller

Dedicated controllers for optimized control of screw and reciprocating compressors according to refrigeration load

#### ADREF Adsorption Type

Refrigeration Machine for Land Use  
Produces chilling capacity using low temperature (waste heat).

#### TORIDAS ( Automatic Leg

Deboning Machine )  
Chicken leg deboning can be carried out automatically at a speed four times faster than manually

Quelle: [www.mycomj.co.jp/eproduct/1005pro.html](http://www.mycomj.co.jp/eproduct/1005pro.html) (abgerufen am 9.3.2007).

Der Anbietermarkt für Adsorptionskältemaschinen ist noch wesentlich übersichtlicher als der für Absorptionsmaschinen. Nur zwei traditionelle Anbieter sind bekannt. Beide sind über Vertretungen in Deutschland aktiv. Hinzu kommt die neu gegründete Sor-tech, die als Spin-Off des Fraunhofer ISE 2002 explizit auf die Anwendung der Technologie im solaren Kühlen hin gegründet wurde.

Tabelle 4-3: Hersteller von Adsorptionskältemaschinen

Hersteller	Land	Produkte mit Kälteleistung (kW)	Internet	Adsorptionskühler seit ca.	Technik/Hinweis auf Marktanteil
SorTech AG	Deutschland	10 bis 50	<a href="http://www.sortech.de">www.sortech.de</a>	2002	Zeolithe oder Silikagel & Wasser, 10kW Gerät für 4-6T€, COP 0,6 Spin-Off des Fraunhofer ISE, Markteintritt steht bevor
Nishiyodo (Vertrieb GBU)	Japan	50 bis 360 105 kW	<a href="http://www.gbunet.de">www.gbunet.de</a>		Wasser/Silikagel, F&E (GBU): 10 kW Anlage in Arbeit, Preisziel 250€/kW
Mayekawa (my-com) (Vertrieb Albring GmbH)	Japan	50 bis 500	<a href="http://www.albring-gmbh.com">www.albring-gmbh.com</a> <a href="http://www.mayekawa.co.jp">www.mayekawa.co.jp</a>		Wasser/Silikagel

Quelle: Unternehmenswebsites, BINE 2004, eigene Recherchen

Systeme mit Sorptionsrotoren sind von einigen Anbietern mit einer Vielzahl von Systemkonfigurationen für unterschiedliche Klimata verfügbar. Einige Systeme werden bereits kommerziell mit Silikagel angeboten. Systeme mit flüssigen Sorptionsmaterialien sind in der Testphase, z. B. bei L-DCS-Technology.

Tabelle 4-4: Hersteller von Soprionskältemaschinen

Hersteller	Land	Produkte mit Kälteleistung (kW)	Internet	Dessicant-Kühler seit ca.	Hinweis auf Marktanteil
Robatherm	Deutschland	75	<a href="http://www.robatherm.de">www.robatherm.de</a>		14 Referenzanwendungen dokumentiert
L-DCS-Technology	Deutschland	200 bis 350	<a href="http://www.l-dcs.com">www.l-dcs.com</a>	2002	Wasser-LiBr Technologie in der Erprobungsphase
Munters AB	Schweden	Größere Leistung	<a href="http://www.munters.de">www.munters.de</a>		SiGel, AITi, Silikat + Luftentfeuchtergeräte

Quelle: Unternehmenswebsites, eigene Recherchen

Aufgrund der Komplexität aller drei Technologien ist nicht unwahrscheinlich, dass sich einige Systemanbieter etablieren werden, die zwar keine Technologiehersteller sind, sondern zugekauft Komponenten zu Systemen komplettieren und ausliefern. So bietet z. B. Conergy seit Anfang 2007 SAC-Komplettsysteme mit Absorptionskältemaschinen von EAW (10 kW) und Yazaki (35 bis 105 kW) an. Diese werden in Hamburg in Container eingebaut, geprüft und fertig verladen. Vor Ort werden die Solarkollektoren und der Kaltwasseranschluss angeschlossen. Hier besteht allerdings systematisch das Problem, dass von verschiedenen Autoren immer wieder auf die Notwendigkeit der

individuellen Optimierung der Systeme hingewiesen wird. Das Angebot „schlüsselfertiger Einheiten“ würde dieser Anforderung entgegenstehen. Neben Conergy bieten mehrere deutsche und österreichische Firmen Systeme des solaren Kühlens an, z. B. Citrin und Schüco (DE) sowie SOLution und Kioto (AT).

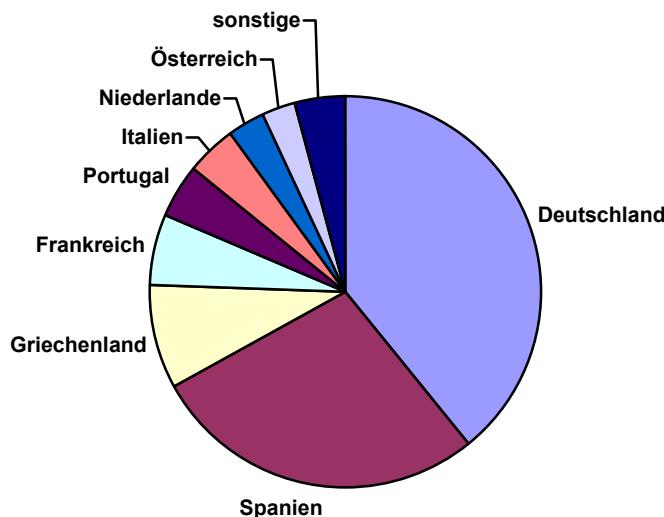
Hinsichtlich der strategischen Bedeutung des solaren Kühlens sind auf der Anbieterseite drei Gruppen zu unterscheiden, die im z.Zt. emergierenden europäischen Markt aktiv sind:

1. Zum einen gibt es sowohl unter den Produzenten von Solarkollektoren wie unter den Produzenten wärmegetriebener Kältemaschinen Öko-Nischenpioniere, bei denen die Kernunternehmensstrategie auf die jeweilige Technologie und deren Klimaschutzbeitrag fokussiert.
2. Weiter gibt es gerade unter den Anbietern der Absorptions- und Adsorptionskältemaschinen etablierte Unternehmen meist aus Japan oder den USA, die aber nur teilweise über speziell optimierte Maschinen verfügen und zur Zeit die Wahl haben, sich den Markt entweder von jungen Spezialisten – viele davon aus Deutschland - abnehmen zu lassen, oder selbst aktiv zu werden. Angesichts wachsender Märkte für Klimaschutzprodukte ist nicht unwahrscheinlich, dass zumindest einige dieser Unternehmen aktiv werden.
3. Eine dritte Gruppe besteht aus etablierten Konzernen der Thermotechnik, von denen die größten aus Deutschland kommen. Diese haben teils bereits Öko-Nischenpioniere der Kollektorbranche übernommen, teils selbst Produktionen aufgebaut. Zur Zeit sind diese Unternehmen dabei, sich teilweise durch Übernahmen den stark wachsenden Wärmepumpenmarkt zu erschließen. Es ist recht wahrscheinlich, dass diese Unternehmen auch in den Markt des solaren Kühlens in gleicher Weise einsteigen, wenn er eine Mindestgröße erreicht hat.

#### **4.1.3 Akteursanalyse Forschung**

Ein weiterer, wesentlicher Faktor für die Prognose der weiteren Technologieentwicklung und der in ihr aktiven Akteure ist die Forschung. Eine Aufstellung des ISE zeigt die Verteilung von 120 Anwendungsprojekten in Europa im Jahre 2004. 2006 war die Zahl der Testanlagen allein in Deutschland auf etwa 50 gestiegen (Neue Energie 4/06: 38).

Abbildung 4-1: Realisierte Anlagen solar unterstützter Klimatisierung in Europa 2004



Quelle: Henning 2007

Deutschland und Spanien dominieren deutlich. In beiden Ländern und darüber hinaus in Griechenland, Frankreich und Österreich sind auch einschlägige Forschungseinrichtungen und -aktivitäten bekannt. Neben dem Fraunhofer ISE und dem ILK Dresden sind in Deutschland auch die Hochschule für Technik Stuttgart und die FH Gelsenkirchen aktiv.

Aus Japan sind aus den 70er Jahren 300 Piloteinrichtungen in Bürogebäuden bekannt, die im Rahmen eines größeren, öffentlich geförderten Forschungsprogramms errichtet wurden (Kimura 2004), jedoch größtenteils nicht mehr betrieben werden. Auch hier ist nicht unwahrscheinlich, dass ein Wiedereinstieg in die Technologie erfolgt.

## 4.2 Rahmenbedingungen und Regulierung

Seit Ende 2002 gibt die EU den Mitgliedstaaten auf, Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden festzulegen und dabei auch die Frage der Klimatisierung mit zu behandeln (European Parliament and Council 2002). Bis Mitte 2006 haben eine Reihe von Mitgliedsstaaten hierauf ihre entsprechende Rechtssetzung überarbeitet. Während aber in Schweden, Deutschland und Italien nur Energieverbrauchswerte für den Wärmeverbrauch von Gebäuden definiert wurden, haben 8 Mitgliedsstaaten, unter ihnen Portugal, Spanien und Österreich, auch Höchstwerte für den Energieverbrauch für Klimatisierungszwecke festgelegt. Dabei sind die konkreten Werte jeweils von einer Reihe Faktoren abhängig, wie z. B. Gebäudezweck, regionale Lage, Ausrichtung u. a. m.

(Österreichische Energieagentur 2006). Detailregulierungen gibt es in einer Anzahl von Mitgliedsstaaten der EU zu solarer Einstrahlung (Regulierungen in 11 Staaten), Fensterfläche (9), Beschattung von Fenstern (7), Systemeffizienz von Klimaanlagen (8) sowie Zeiten mit zu hohen Temperaturen im Gebäude (9) (Österreichische Energieagentur 2006: 36).

In Deutschland ändert sich die Rechtslage erneut, sobald die EnEV 2007 verabschiedet ist: Für Nicht-Wohngebäude sowie klimatisierte Wohngebäude wird dann ein neues Berechnungsverfahren eingeführt, das auch Hilfsantriebe einschließt (DIN V 18599)<sup>3</sup>. Die EnEV 2007 wird einen Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung, Kühlung und eingebaute Beleuchtung vorschreiben. Ein Grenzwert explizit für Klimatisierung ist nicht vorgesehen, sondern indirekt über den Primärenergiebedarf eingeschlossen. Ab 1000m<sup>2</sup> Nutzfläche sind außerdem „alternative Systeme“ zu überprüfen – solare Klimatisierung wird zwar nicht erwähnt, dürfte jedoch in den nächsten Jahren noch in diese Kategorie einzuordnen sein.

Weiterhin ist von Bedeutung, dass bis 2006 schon in 60 spanischen Kommunen (mit insgesamt ca. 8 Millionen Einwohnern) lokale Bauvorschriften existieren, die die Solar-energienutzung zur Warmwassergewinnung und Heizung vorschreiben. 60 % bis 75 % solarer Deckungsgrad sollen erreicht werden und die Hauseigentümer sind auch zur Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit und zur messtechnischen Überwachung verpflichtet. In Barcelona stieg seit Einführung der Vorschrift in 2001 die installierte Kollektorfläche von 1,1 m<sup>2</sup> pro 1000 Einwohner auf 22,4 m<sup>2</sup> pro 1000 Einwohner (ASIT 2006).

Durch den national gültigen, spanischen „Technical Building Code“ aus 2006 wird zusätzlich national die Nutzung von Solarenergie für die Heißwassergewinnung vorgeschrieben (ASIT 2006). Über eine ähnliche Vorschrift in Portugal berichtet Niemeyer (2007).

Weiter ist eine Reihe von Fördermaßnahmen für die Installation von Solarkollektoren von Bedeutung. In Deutschland und Österreich wird z. B. die Nachfrage nach Kollektoren maßgeblich durch steuerliche und sonstige staatliche Förderung getragen. (BBT 2007).

Auch Italien bietet grundsätzlich ein großes Marktpotenzial für Solarthermie-Systeme. Dort mangelt es aber derzeit an gesetzlichen Regelungen und Fördermechanismen, um dieses Potenzial auszuschöpfen (BBT 2007).

---

<sup>3</sup> Eine Übersicht zur DIN V 18599 ist unter [www.enper-exist.com/pdf/publications/germany/din18599\\_uebersicht.pdf](http://www.enper-exist.com/pdf/publications/germany/din18599_uebersicht.pdf) zu finden.

Alle der bis hierher genannten Regulierungen und Förderinstrumente betreffen nur Solarthermie im Allgemeinen und nicht das solare Kühlen speziell. Konkret fokussiert auf solares Kühlen sind noch keine gesetzlichen Regelungen bekannt. In einigen Ländern besteht aber die Möglichkeit, Förderungen zu bekommen.

2004 hat die damalige rot-grüne Bundesregierung das Förderprogramm "Solarthermie 2000" um den Schwerpunkt „solar unterstützte Klimatisierung“ ergänzt. Die vier bis sechs Millionen €, die das BMU bis 2008 über das erweiterte Programm „Solarthermie 2000plus“ jährlich bereitstellt, stehen damit explizit auch für die Pilot- und Demonstrationsvorhaben im Kältebereich zur Verfügung (Neue Energie 4/06: 38). Das „Marktanreizprogramm Erneuerbare Energien“ (2007) sieht u. a. für Solarkollektoren zur solaren Kühlung einen um 30 € pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche (bis max. 40 m<sup>2</sup>) erhöhten Fördersatz<sup>4</sup> vor (siehe [http://www.bafa.de/1/de/aufgaben/energie/erneuerbare\\_energien.php](http://www.bafa.de/1/de/aufgaben/energie/erneuerbare_energien.php)). Anlagen mit mehr als 40m<sup>2</sup> Kollektorfläche werden über ein neues KfW-Programm gefördert (siehe [www.kfw-foerderbank.de/DE\\_Home/Umweltschutz/Erneuerbar17/index.jsp](http://www.kfw-foerderbank.de/DE_Home/Umweltschutz/Erneuerbar17/index.jsp)).

Mit Blick auf die frühe Innovationsphase ist auch festzuhalten, dass in hohem Umfang die Projektförderung noch über Forschungsetats abgewickelt wird. Wie schon in der Akteursanalyse ausgeführt, findet sich hier ein Schwerpunkt in Deutschland und Spanien.

Der Blick auf regulative Regelungen und Fördermodelle rücken letztlich die EU-Staaten Spanien, Deutschland, Portugal und Österreich in den Fokus. Mit Blick auf die Allokation von Forschungsprojekten und Pilotanwendungen ist hier durchaus von einer Wirksamkeit der Instrumente auszugehen.

---

<sup>4</sup> Maximal sind hier also 1.200 € zusätzliche Förderung möglich, was bei der augenblicklich noch schlechten Wirtschaftlichkeit zu nicht allzu vielen Installationen führen dürfte.

## 5 Fazit: SWOT-Analyse Deutschland

Stärken, Schwächen, Chancen und Herausforderungen des solaren Kühlens lassen sich wie folgt fokussieren:

Tabelle 5-1: SWOT-Analyse für die internationale Wettbewerbsfähigkeit der EU und Deutschlands in der Techniklinie solares Kühlen

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>entwickelter Solarthermiemarkt, der die kritische Masse für förderungsunabhängiges Marktwachstum bald erreicht hat</li> <li>große Zahl installierter Kollektoranlagen</li> <li>hochentwickeltes Innovationssystem (Indikatoren des WEF)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>kurzfristige Kostensenkung bei 5 kW Anlagen erschließt Markt für Anwendung in Einfamilienhäusern mit existierenden Kollektoren</li> <li>Verbesserung der Exportbedingungen durch weitere Länder, die nach israelischem und spanischem Modell Solarkollektoren baurechtlich vorschreiben</li> <li>Weiteres Export Potenzial in Asien, den USA und den arabischen Staaten</li> </ul>
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>geringere Sonneneinstrahlung und geringerer Kühlbedarf als im Mittelmeerraum</li> <li>noch einiger Entwicklungsbedarf bei wärmegetriebenen Kühlmaschinen und Systemengineering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realisierung von Serienanlagen (5 kW bis 20 KW), die durch Konstruktion und Fertigungsorganisation Skalenvorteile erschließen</li> <li>Nachweis hoher Lebensdauer unter Praxisbedingungen bei erträglichen Wartungsaufwänden</li> <li>aktiver Wiedereinstieg erfahrener asiatischer Hersteller wie Yazaki in die Herstellung von kleinen Kühlanlagen (&lt; 30 kW)</li> </ul>

## 6 Politische Strategien zur Förderung des solaren Kühls

Das solare Kühlen sollte wie die anderen Bereiche der Nutzung regenerativer Energien als neue Techniklinie politisch unterstützt werden. Etappenziel der Unterstützung ist das Erreichen einer kritischen Marktmasse, die zu sich selbst unterstützenden Abläufen führt. Hierzu sind im Kern erforderlich (vgl. ESTIF 2006):

- die weitere Förderung von Pilotprojekten und Vorserien, damit die Technologie serienreif wird und die ersten Skaleneffekte zu fallenden Investitionskosten führen,
- auf das Installationsgewerbe Heizung, Sanitär und Klima gerichtete Informations- und Schulungskampagnen,
- auf Erstanwender im gewerblichen wie privaten Bereich Informationskampagnen, ggf. zunächst mit Förderangeboten.

Das im „Solar Thermal Action Plan for Europe“ vorgeschlagene Konzept der ESTIF (2006) enthält hierzu noch eine Reihe von Kontextinformationen, wie z. B. ein Erklärungsmodell für das Erreichen einer kritischen Marktmasse, die Betonung der Wichtigkeit von Langfristzielen (langfristige Zielklarheit wird auch im Parallelvorhaben der FFU gefordert) und der Umsetzung eines auf alle beteiligten Akteure zugeschnittenen Programms an Einzelmaßnahmen. Auch ein Vorantreiben der Standardisierung wird gefordert.

Über zwei konkrete Maßnahmen scheint eine besonders effektive und im Falle der zweiten Initiative auch kurzfristig wirksame Förderung möglich.

### 6.1 Schaffung guter Ausgangsbedingungen für das solare Kühlen im „Erneuerbare-Wärme-Gesetz“

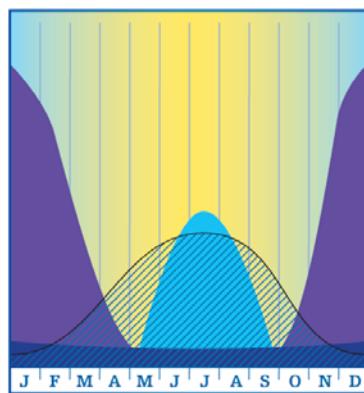
Nach spanischem, portugiesischem und israelischem Vorbild könnte die Installation von Solarkollektoranlagen in ein kommendes Erneuerbare-Wärme-Gesetz verpflichtend und insbesondere auch für Gewerbegebäute integriert werden. Im Anschluss daran wäre die Vermarktung des solaren Kühls einfacher.

### 6.2 Strategie des „ungenutzten Zuckerhuts“

Insbesondere bietet sich die Förderung bei denjenigen potenziellen Anwendern an, die bereits über Solarkollektoren verfügen. Das Primärenergiepotenzial der mittlerweile gut 5 GW<sub>th</sub> installierter Solarkollektorleistung in 940.000 Solarkollektoranlagen ist noch

nicht ausgeschöpft, da das Gros der Anlagen nur der Wärmebereitstellung dient. Die Grafik lässt erkennen, dass gerade die sommerliche Spitzenleistung nicht abgerufen wird. Dieser „ungenutzte Zuckerhut“ steht nicht nur prinzipiell als solare Energie kostenfrei zur Verfügung, er ist auch bereits technisch erschlossen und quasi kostenfrei nutzbar.

Abbildung 6-1: Angebot und Bedarf solarer Wärme: der „ungenutzte Zuckerhut“<sup>5</sup>



Quelle: ESTIF 2006a: 7

Nicht nur technisch-ökonomisch stellt sich das solare Kühlen bei Vorhandensein eines Kollektors deutlich günstiger dar, auch emotional ist es „schade“ die Sonnenenergie ungenutzt zu lassen. Für die sommerliche Energienutzung spricht dabei auch, dass Solarkollektoren zwar die sommerliche „Nichtnutzung“ überleben (Stagnationsfestigkeit), die Kühlung durch Nutzung der Anlage aber dennoch zu Gute kommt.

Eine erste Möglichkeit zur Förderung des solaren Kühls und Erschließung erster Märkte bestände daher darin, diejenigen Anwender, in deren Gebäuden sich **sowohl** eine konventionelle Klimatisierung als auch eine Solaranlage befinden, durch Information und finanzielle Förderinstrumente zum Einstieg in die solare Kühlung zu bewegen und so einen ersten, größeren Markt zu erschließen.

Ergänzend wäre möglich, über die solare Klimatisierung als umweltfreundlichen Luxus im Bereich der bestehenden Haushalte mit Solaranlage zu informieren und so einen zweiten Pilotmarkt besonders für kleine Anlagen zu schaffen. Angesichts der nicht unwahrscheinlichen Vermutung, dass (elektrische) Klimageräte ohnehin in den nächsten Jahren im Privathaushalt Einzug halten werden, würde eine solche Kampagne den technischen Rückstand der solaren Klimatisierung reduzieren helfen und u.U. erreichen, dass bei Einsatz einer möglichen, großen Ausrüstungswelle der Privathaushalte

---

<sup>5</sup> Der hellblaue Kegel in der Mitte der Abbildung stellt den Kältebedarf dar, die Schraffierte Fläche den solaren Ertrag und die violette Parabel den Heizwärmebedarf.

mit Klimageräten zwischen 2010 und 2015 die solare Klimatisierung bereits die Technologie der Wahl ist. Element der Informationskampagne hierzu müsste sein, die hohen Stromkosten der elektrischen Klimatisierung von bis ca. 500 €/a zu kommunizieren<sup>6</sup>, die durch Solartechnologie vermieden werden können.

Diese Strategie bedarf insoweit der besonderen Vorsicht, als hier nicht ohne Not der Klimatisierung als solcher das Wort geredet werden darf. Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass die Zahl der Angebote für Klimageräte – sogar schon in der massenhaften Konsumentenwerbung – seit der Sommersaison 2006 sichtbar zunimmt.

---

<sup>6</sup> In den USA liegt der durchschnittliche Stromverbrauch für Klimatisierung in den Haushalten bei 2.400 kWh/a. Bei Stromkosten für Privathaushalte von 20 Cent/kWh ergeben sich 500 €/a. Aufgrund anderer Bautechniken dürften diese Kosten in Deutschland etwas niedriger ausfallen, dennoch aber nicht unerheblich sein.

## Literatur

- Aebischer, Bernard (2006): Die Bedeutung der Sommerkühlung für die Elektrizitätsnachfrage in der Schweiz. Vortrag am Center for Energy Politics and economics der ETH Zürich am 14. März 2006. Online unter [www.cepe.ch/download/staff/bernard/Sommerkuehlung\\_Forum-ZH\\_14-3-06.pdf](http://www.cepe.ch/download/staff/bernard/Sommerkuehlung_Forum-ZH_14-3-06.pdf) (abgerufen am 10.1.2007).
- ASIT (2006): Renewable Heating & Cooling. SPAIN: SOLAR ORDINANCES, A FRAMEWORK FOR MARKET GROWTH. Vortrag auf den World Sustainable Energy Day 2006 in Wels am 1. März 2006. Online: [www.asit-solar.com/presentaciones/ASIT,%20WSED%202006,%201-3-06.pdf](http://www.asit-solar.com/presentaciones/ASIT,%20WSED%202006,%201-3-06.pdf) (abgerufen am 28.2.2007).
- Bank Sarasin (2005): Nachhaltigkeitsstudie Solarenergie. Im Spannungsfeld zwischen Rohstoffengpass und Nachfrageboom. Online: [www.sarasin.ch](http://www.sarasin.ch) (abgerufen am 6.2.2007).
- Bank Sarasin (2006): Nachhaltigkeitsstudie Solarenergie. Licht und Schattenseiten einer boomenden Industrie.
- BBT (2007): Homepage Wettbewerbssituation. Online unter [www.bbt-thermotechnik.de/sixcms/detail.php/2073920](http://www.bbt-thermotechnik.de/sixcms/detail.php/2073920) (abgerufen am 16.2.2007).
- BINE-Informationsdienst (2004): Klimatisieren mit Sonne und Wärme. Reihe Themeninfo1/04 Online: [www.bine.info](http://www.bine.info) (abgerufen am 29.1.2007).
- BINE-Informationsdienst (2006): Energiesparen bei der Kälteerzeugung. Reihe Basis-Energie Nr. 20. Online: [www.bine.info](http://www.bine.info) (abgerufen am 20.1.2007).
- Bundesverband Solarwirtschaft (BSW 2007): Statistische Zahlen der deutschen Solarwirtschaft. Stand: Februar 2007. Berlin.
- CENERG (2007): Air-Conditioning key figures. Online unter: [www.cenerg.ensmp.fr/english/themes/syst/index.html](http://www.cenerg.ensmp.fr/english/themes/syst/index.html) (abgerufen am 13.2.2007).
- EECCAC-Team (2003a): Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners. study for the D.G. Transportation-Energy (DGTRÉN) of the Commission of the E.U., Armines. Volume 1. Online unter: [www.cenerg.ensmp.fr](http://www.cenerg.ensmp.fr) (abgerufen am 30.1.07)
- EECCAC-Team (2003b): Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners. study for the D.G. Transportation-Energy (DGTRÉN) of the Commission of the E.U., Armines. Volume 2. Online unter: [www.cenerg.ensmp.fr](http://www.cenerg.ensmp.fr) (abgerufen am 30.1.07)

Energy Information Administration (EIA 2001): 2001 Residential Energy Consumption Survey: Household Energy Consumption and Expenditures Tables. Online: [www.eia.doe.gov/emeu/recs/](http://www.eia.doe.gov/emeu/recs/) (abgerufen am 18.1.2007).

ESTIF (2006a) Solar Thermal Action Plan for Europe. Brüssel. Online: [www.estif.org](http://www.estif.org) (abgerufen am 19.3.2007).

ESTIF (2006b) Solar Thermal Markets in Europe. Trends and Market Statistics 2005. Brüssel. Online: [www.estif.org/fileadmin/downloads/Solar\\_Thermal\\_markets\\_in\\_Europe\\_2005.pdf](http://www.estif.org/fileadmin/downloads/Solar_Thermal_markets_in_Europe_2005.pdf) (abgerufen am 19.3.2007).

ESTTP (2006): Solar Thermal Vision 2030. Online: [www.esttp.org](http://www.esttp.org) (abgerufen am 20.3.2007).

European Parliament and Council (2002): Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16. December 2002 on the energy performance of buildings. Online: [http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2003/l\\_001/l\\_00120030104en00650071.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2003/l_001/l_00120030104en00650071.pdf) (abgerufen am 28.2.2007).

Fraunhofer ISI (2004): Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe–Handel–Dienstleistungen. Bericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. Karlsruhe u. a.. Online: [www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Service/publikationen,did=31602.html](http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Service/publikationen,did=31602.html) (abgerufen am 1.2.2007).

Generaldirektion Unternehmen und Industrie, Europäische Kommission (2006): Europäische Industrie: Sektorenüberblick. Aktualisierung 2006. Brüssel. Online: [http://ec.europa.eu/enterprise/enterprise\\_policy/industry/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/enterprise_policy/industry/index_de.htm) (abgerufen am 5.3.2007).

Greenpeace/ Estia (2005): Concentrated Solar Thermal Power. Now!. Online unter: [www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org) (abgerufen am 27.3.2007).

Henning, Hans-Martin (2006): Thermodynamische Grundlagen der solaren Kühlung – ein Weg zur Systemauswahl. Vortrag im Rahmen der RENEXPO in Augsburg am 28.9.2006.

Henning, Hans-Martin (2007): Solar Cooling and Asir-Conditioning. Vortrag im Rahmen der European Sustainable Energy Week der European Solar Thermal Technology Platform am 7.2.2007 in Brüssel. Online: [www.esttp.org](http://www.esttp.org) (abgerufen am 7.3.2007).

Hindenburg, Carsten (2006): Solare Klimatisierung mit offenen Verfahren - Feststoff- sorption und Flüssigsorption. Vortrag im Rahmen der RENEXPO in Augsburg am 28.9.2006.

Hindenburg, Carsten (2007): Telefonische Auskunft vom 14.3.2007.

IKZ-Fachplaner (2006): Solare Kühlung – Klima mit Zukunft. In: IKZ-Fachplaner Heft 8/9 2006 S. 20 – 25.

Internationale Energieagentur (2007): Technology Market Leaders Solar Thermal. Online: [www.iea.org/textbase/pamsdb/global/maps/images/world/leader.htm#](http://www.iea.org/textbase/pamsdb/global/maps/images/world/leader.htm#) (abgerufen am 15.2.2007).

Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association (JRACIA 2005): Estimates of World Demand for Air Conditioners (2000-2008). Online unter: [www.jraia.or.jp/english/est/index.html](http://www.jraia.or.jp/english/est/index.html) (abgerufen am 19.2.2007).

Kimura, Ken-ichi (2004): Japanese Air Conditioning Experience. Vortrag am 20. Juni 2004 auf der IEA Conference on Cooling Buildings in a Warming Climate in Sophia Antipolis, Frankreich. Online unter: [www.iea.org/dbtw-wpd/Text-base/work/2004/cooling/kimura.pdf](http://www.iea.org/dbtw-wpd/Text-base/work/2004/cooling/kimura.pdf) (abgerufen am 26.2.2007).

Neue Energie (2006): Coole Sonne. In: Neue Energie 04/06 S. 38.

Niemeyer, Jens (2007): Telefonische Auskunft vom 23.3.2007.

Oberösterreichischer Energiesparverband (OÖE) (2005): Climasol – Leitfaden zum Thema solares Kühlen. Linz. Online: [www.esv.or.at](http://www.esv.or.at) (abgerufen am 1.2.2007).

Österreichische Energieagentur (Hrsg. 2006): Survey on national legislation defining or affecting summer comfort. Wien. Online: [www.energyagency.at/publ/pdf/keepcool\\_legislation.pdf](http://www.energyagency.at/publ/pdf/keepcool_legislation.pdf) (abgerufen am 28.2.2007).

Peetz, Helmut (2007): Kälte aus Wärme. Ammoniak-Wasser-Absorptionskältanlagen für Temperaturen unter 0 °C. Vortrag auf der ener tec am 7.3.2007 in Leipzig.

Simader, Günter R. (2005): Klimatisierung, Kühlung und Klimaschutz: Technologien, Wirtschaftlichkeit und CO<sup>2</sup>-Reduktionspotenziale. Vortrag bei der Austrian Energy Agency am 21. 4. 2005. Online: [www.energyagency.at/\(de\)/themen/klimaschutz\\_index.htm](http://www.energyagency.at/(de)/themen/klimaschutz_index.htm)

Sonne, Wind und Wärme (SWW 2007): ISH 2007: Leistungsshow der Regenerativen. In: Sonne, Wind und Wärme 3/2007 S. 74 – 90.

World Economic Forum (WEF 2006): The Global Competitiveness Report 2006 – 2007.  
Creating an Improved Business Environment. Genf.

World market for air conditioning update 2001, J.A. GILES and W. ISHIDA, BSRIA,  
june 2000

Yazaki (2003): Pursuing comfort and convenience with environmentally friendly  
technology. Firmenprospekt. Hamamatsu.

In der Reihe „Umwelt, Innovation, Beschäftigung“ sind bisher die folgenden Bände erschienen:

- 01/07 Wirtschaftsfaktor Umweltschutz: Vertiefende Analyse zu Umweltschutz und Innovation
- 02/07 Umweltpolitische Innovations- und Wachstumsmärkte aus Sicht der Unternehmen
- 03/07 Zukunftsmarkt Solarthermische Stromerzeugung
- 04/07 Zukunftsmarkt CO<sub>2</sub>-Abscheidung und –Speicherung
- 05/07 Zukunftsmarkt Elektrische Energiespeicherung
- 06/07 Zukunftsmarkt Solares Kühlen
- 07/07 Zukunftsmarkt Energieeffiziente Rechenzentren
- 08/07 Zukunftsmarkt Biokunststoffe
- 09/07 Zukunftsmarkt Synthetische Biokraftstoffe
- 10/07 Zukunftsmarkt Hybride Antriebstechnik
- 11/07 Zukunftsmarkt Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement
- 12/07 Zukunftsmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft und Nanotechnologie
- 13/07 Zukunftsmarkt Stofferkennung und -trennung

Alle Veröffentlichungen können kostenlos auf [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de) heruntergeladen werden.