

# Wie stehen die Aussichten für Solares Kühlen?

von [Martin Dehli](#)

Email: [Martin.Dehli@energie-fakten.de](mailto:Martin.Dehli@energie-fakten.de)

## Hier die Fakten – Kurzfassung

Der Energiebedarf für Klimatisierung und Kälte steigt weltweit: Sich mit dem technischen Fortschritt wandelnde Arbeitsbedingungen und wachsender Wohlstand erweitern das Bedürfnis nach passend temperierten Räumen. In heißen, sonnenreichen Regionen ist die Klimatisierung nicht selten sogar eine Grundvoraussetzung für die weitere Entwicklung. Längerfristig muss nicht zuletzt wegen der fortschreitenden Industrialisierung heutiger Schwellen- und Entwicklungsländer mit einem weltweit erheblich wachsenden Klimatisierungsbedarf gerechnet werden. Und gleichzeitig ist besonders in Ballungsräumen – als Folge sowohl örtlicher Klimaveränderungen als auch des globalen Klimawandels – mit höheren Mitteltemperaturen im Sommer zu rechnen. In Regionen wie z. B. Süd-japan, Südchina, Südindien und Kalifornien sowie im Nahen und Mittleren Osten stößt die Stromversorgung wegen des hohen Strombedarfs von herkömmlichen Klimaanlagen in den Sommermonaten bereits heute z. T. an Kapazitätsgrenzen.

Großzügig verglaste moderne Gebäude müssen im Sommer häufig erhöhte Wärmelasten durch Sonneneinstrahlung verkraften und haben einen erheblichen Kühlbedarf. Daneben spielen innere Wärmelasten – durch Personen und eine zunehmende Anzahl elektrischer Geräte –

eine Rolle. Bauherren, Ingenieure und Architekten setzen deshalb Erwartungen in die Nutzung von Solarenergie zum Kühlen – denn die Sonne scheint zumeist dann stark, wenn Gebäude gekühlt werden müssen. Sonneneinstrahlung und die Nachfrage nach Gebäudekühlung passen also oft in erster Näherung zeitlich zusammen.

Hierzu ist in den vergangenen zwei Jahrzehnten eine Reihe unterschiedlicher solarthermischer Techniken entwickelt worden, die meist im Verbund mit anderen Kühltechniken betrieben werden. Aus wirtschaftlichen Gründen haben sie sich allerdings bisher nur vereinzelt zu einer echten Konkurrenz zu den konventionellen Techniken der Kälteerzeugung entwickeln können – obwohl sie sich inzwischen meist in der Praxis bewährt und im Markt verankert haben.

Bei der solarthermischen Kühlung dient die mit thermischen Solarkollektoren (überwiegend Flachkollektoren oder Vakuum-Röhrenkollektoren) eingefangene Wärme der Sonneneinstrahlung dazu, einen kältetechnischen Prozess auf der Grundlage von Absorptions- oder Adsorptionskältemaschinen anzutreiben. Diese müssen so ausgelegt sein, dass sie mit den Temperaturen aus den Solarkollektoren – d. h. bis herunter zu 70 °C – auskommen. Die Beschränkung auf thermische Solarkollekto-

ren schließt zugleich aus, dass der wichtigste kältetechnische Prozess – der konventionelle Kompressionskältemaschinenprozess – eingesetzt werden kann, denn dieser braucht für den Kompressorantrieb mechanische Energie, die z. B. von Elektromotoren oder von Gas-Verbrennungsmotoren kommt.

Da eine solare Kühlung allein meist nicht für alle Lastfälle ausreicht, benötigt man Kältespeicher und Zusatzsysteme, die wirksam einspringen können (so genannte „Back-up-Systeme“). Dafür ist – neben konventionell wärmeversorgten Absorptions- und Adsorptionstechniken – vor allem die Technik der konventionellen Kompressionskältemaschine interessant.

Damit die Investitionskosten für das solare Kühlen nicht zu hoch werden, sollte versucht werden, die dafür notwendigen thermischen Solarkollektoren auch für andere Zwecke (z. B. zur Trinkwassererwärmung) zu nutzen. Und um die Anlagen kostensparend auf kleinere Leistungen hin auslegen zu können, müssen zusätzlich auch die passive Gebäudekühlung und die freie Kühlung genutzt werden: Bei der passiven Gebäudekühlung wird nachts mit Hilfe kühler Außenluft gelüftet, um das Gebäude abzukühlen. Die passive Gebäudekühlung stößt allerdings bei hohen Wärmelasten oder wenig absinkenden Nachttemperaturen, wie sie z. B.

in Ballungsgebieten im Hochsommer auftreten, an ihre Grenzen. Bei neuen Gebäuden steht noch vor der solaren Kühlung die Verminderung von Wärmelasten durch eine geeignete Gebäudekonstruktion. Neue Gebäude sollten deshalb eine hochwertige Gebäudehülle aufweisen, die im Sommer möglichst wenig Solarstrahlung eindringen lässt – etwa durch entsprechende Fenster, Verschattungseinrichtungen, Außenjalousien u. ä.. Für die Wirtschaftlichkeit sind nicht nur die eingesetzte Technik so-

wie das zeitliche und mengenmäßige Profil des Kühlbedarfs von Bedeutung, sondern auch die Kosten der Energie, die in der Konkurrenztechnik – der elektrischen Kompressionskälteanlage – eingesetzt wird.

Falls sich bei der Stromerzeugung mit solarthermischen Kraftwerken und Photovoltaik-Anlagen in sonnenreichen Regionen künftig nennenswerte Kostensenkungen erzielen lassen sollten, könnten in Zukunft auch die wirtschaftlichen Möglichkeiten einer solarelektrischen Klima-

tisierung interessant werden. Diese ist technisch sowohl mit herkömmlichen, elektrisch betriebenen Klimaanlagen als auch mit den üblichen Stromversorgungslösungen kompatibel. Bislang spielt die solarelektrische Kühlung indessen nur eine untergeordnete Rolle – z. B. bei der Medikamentenkühlung in wenig entwickelten ländlichen Regionen ohne Anschlussmöglichkeit an ein großräumiges Stromnetz.

# Wie stehen die Aussichten für Solares Kühlen?

von [Martin Dehli](#)

Email: [Martin.Dehli@energie-fakten.de](mailto:Martin.Dehli@energie-fakten.de)

## Hier die Fakten – Langfassung

Der Energiebedarf für Klimatisierung und Kälte steigt weltweit. Dafür gibt es eine Reihe von Gründen: So weisen architektonisch ambitionierte moderne Gebäude (z. B. repräsentative Büro- und Verwaltungsgebäude, Museen, Gastronomiebetriebe, Einkaufszentren, Freizeiteinrichtungen usw.) oft großzügige Glasflächen auf; dies führt im Sommer zu erhöhten Wärmelasten durch Sonneneinstrahlung und damit zu einem erhöhten Kühlbedarf. Ein weiterer Kühlbedarf ergibt sich aus inneren Wärmelasten von Menschen, durch Beleuchtung, elektronische Bürogeräte wie Computer, Faxgeräte, Kopierer u. ä. Daneben deutet sich im gehobenen Wohnbereich ein – allerdings eher begrenztes – Interesse an Techniken an, mit denen in Ergänzung zur Hauptaufgabe der Wärmeversorgung zusätzlich auch Kühl- und Entfeuchtungsaufgaben wahrgenommen werden können. Auch ist möglicherweise längerfristig – als Folge des zu beobachtenden Klimawandels – in vielen Weltregionen mit höheren Mitteltemperaturen im Sommer zu rechnen; dadurch könnte die Nachfrage nach Systemen zur Klimatisierung weiter zunehmen.

In einer Reihe von Regionen wie z. B. Südjapan, Südchina, Südindien, dem Nahen und Mittleren Osten sowie Kalifornien stößt die Stromversorgung wegen des hohen Strombedarfs von herkömmlichen Klima-

anlagen in den Sommermonaten immer häufiger an Kapazitätsgrenzen. In diesem Zusammenhang werden Erwartungen auf die Nutzung von solarer Wärme zum Kühlen gesetzt – denn die Sonne scheint zumeist dann stark, wenn Gebäude gekühlt werden müssen. Sonneneinstrahlung und die Nachfrage nach Gebäudekühlung passen also oft in erster Näherung zeitlich zusammen. Die solare Kühlung könnte sich deshalb auch in sonnenreichen Entwicklungs- und Schwellenländern als sinnvoll erweisen.

Bisher haben sich allerdings solare Techniken, die meist im Verbund mit anderen Kühltechniken betrieben werden, aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu einer echten Konkurrenz zu den konventionellen Techniken der Kälteerzeugung entwickeln können – obwohl sich inzwischen eine Reihe von Anlagen in der Praxis bewährt haben, die Standardisierung beginnt und die erforderlichen Kälteanlagen nicht nur für größere, sondern auch für kleinere Leistungen zur Verfügung stehen. Der Markt für die solarthermische Kälteerzeugung ist deshalb noch klein.

### Unterschiedliche Techniken

Der wichtigste kältetechnische Prozess ist der konventionelle **Kompressions-Kältemaschinenprozess**; dieser braucht für den Kompressorantrieb mechanische Energie, die

überwiegend von Elektromotoren, aber teilweise auch von Gas-Verbrennungsmotoren kommt. Der notwendige Strom könnte z. B. mit Photovoltaikanlagen oder mit solarthermischen Kraftwerken erzeugt werden; diese Art der Stromerzeugung ist heute aber noch längst nicht wirtschaftlich, sondern erfordert zum Teil erhebliche Subventionen.

Deshalb richten sich die Anstrengungen vor allem auf die Kühlung mit Sonnenwärme. Dabei dient die mit thermischen Solarkollektoren (meist Flachkollektoren oder Vakuum-Röhrenkollektoren) eingefangene Wärme der Sonnenstrahlung dazu, einen kältetechnischen Prozess anzutreiben. Insbesondere die folgenden Techniken stehen für das solare Kühlen zur Verfügung:

### Absorptionskältemaschinen:

Bei einer Absorptionskältemaschine wird das Kältemittel (Wasser oder Ammoniak) bei niedrigeren Temperaturen in einem flüssigen Lösungsmittel (Lithiumbromid oder Wasser) absorbiert. Bei der Absorption wird Lösungswärme frei, die über einen Kühlkreis abgeführt wird. Anschließend wird die kältemittelreiche Flüssigkeit durch eine kleine Pumpe auf einen höheren Druck gebracht. Das Kältemittel wird bei höheren Temperaturen durch Beheizung mit Wärme wieder aus der Lösung ausgetrieben und dann durch Wärmeabfuhr ver-

## LANGFASSUNG

flüssigt. Danach wird das Kältemittel gedrosselt, wobei es einen niedrigen Druck und eine niedrige Temperatur erreicht, mit der gekühlt werden kann. Die Kühlwirkung wird dadurch erreicht, dass das Kältemittel unter Entzug von Wärme aus der Umgebung verdampft. Die Verdampfer-temperatur kann bei Ammoniak-Kältemaschinen bis auf  $-60\text{ °C}$  gesenkt werden, was für industrielle Kälteanwendungen interessant sein kann. Dagegen können bei Verwendung von Wasser als Kältemittel nur minimal  $+4\text{ °C}$  bis  $+5\text{ °C}$  erreicht werden; dies reicht jedoch für die Gebäudekühlung gut aus. Die Antriebs-temperaturen für die Austreibung liegen normalerweise zwischen  $+90\text{ °C}$  bis  $+140\text{ °C}$ . Die Technik von Absorptionskältemaschinen ist schon lange bekannt und bewährt. Im Hinblick auf die Nutzung von Niedertemperaturwärme aus Solaranlagen oder aus Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung (z. B. Fernwärme oder Wärme aus dezentralen Blockheizkraftwerken) gelang es in den letzten Jahren, Absorptionskältemaschinen zu entwickeln, die mit Heiztemperaturen bis herunter zu  $70\text{ °C}$  auskommen.

#### **Offene Adsorption (Sorptionsgestützte Klimatisierung, DEC-Technik):**

Offene Adsorptionsanlagen verwenden die Zuluft zur Kühlung von Räumen direkt als Kälteträger. Zunächst erfolgt eine physikalische Adsorption von Wasser an Silikagel oder Lithiumchlorid; dies dient zur Trocknung der Luft. Gekühlt wird anschließend mit einer direkten Befeuchtung der getrockneten und mit einem Wärmeübertrager vorgekühlten Luft, wobei das zur Befeuchtung verwendete flüssige Wasser verdampft und damit der zu kühlenden Umgebung Wärme entzieht. Die thermische Antriebsenergie ist zur Desorption (Ablösung) des adsorbierten Wassers aus dem Silikagel oder Lithiumchlorid, das regeneriert werden muss, erforderlich. Es lassen sich Lufttemperaturen von etwa  $+16\text{ °C}$  erreichen, so dass der Einsatzbereich auf die

Klimatisierung beschränkt ist. Die Antriebs-temperaturen, die zur Desorption benötigt werden, liegen zwischen  $+60\text{ °C}$  bis  $+70\text{ °C}$ ; dies ist für die Nutzung von Niedertemperaturwärme aus Solaranlagen, aus Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung oder aus industriellen Produktionsanlagen (Abwärme) günstig.

#### **Geschlossene Adsorption:**

Bei der geschlossenen Adsorptionstechnik wird das Kältemittel Wasser an einem Festkörper wie Silikagel unter Freisetzung von Bindungswärme an der Oberfläche adsorbiert. Die Ablösung des angelagerten Wassers und die Druckerzeugung für die Kondensation erfolgt bei Antriebs-temperaturen von  $+60\text{ °C}$  bis  $+70\text{ °C}$ . Es kann Kaltwasser von minimal  $+4\text{ °C}$  bis  $+5\text{ °C}$  erzeugt werden.

Die tatsächlich erreichbare Nutzung solarer Kühltechnik ist im Zusammenhang mit dem jeweilig gewählten weiteren Kälteerzeugungsverfahren zu sehen, das einspringen muss, wenn die solare Kühlung nicht möglich ist. Zwar muss bei der Raumkühlung in der Regel dann gekühlt werden, wenn es draußen heiß ist und die Sonne scheint – aber es gibt nicht selten auch Situationen, bei denen Kälte benötigt wird, wenn die Sonne gerade nicht scheint. Die solare Kühlung ist also im Gesamtkomplex der Anwendungs- und Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Kälteerzeugungsverfahren zu beurteilen und zu bewerten.

Da eine solare Kühlung allein meist nicht für alle Lastfälle ausreicht, benötigt man Kältespeicher und Zusatzsysteme, die wirksam einspringen können – oder auch die Hauptlast beim Kühlen zu übernehmen haben (so genannte „Back-up-Systeme“). Dafür ist – neben konventionell wärmeversorgten Absorptions- und Adsorptionstechniken – vor allem die Technik der Kompressions-Kältemaschine interessant:

#### **Kompressions-Kältemaschine:**

Die weitaus größte Bedeutung bei der Gebäudekühlung und –klimati-

sierung hat der konventionelle Kompressions-Kältemaschinenprozess. Dabei wird ein passend ausgewähltes Kältemittel – etwa R134a – in einem Kreisprozess bei niedriger Temperatur und niederem Druck verdampft, wobei es dem zu kühlenden Bereich Wärme entzieht. Danach wird es in einem – meist strombetriebenen – Kompressor verdichtet und gibt anschließend bei höheren Temperaturen und höherem Druck überwiegend durch Kondensation Wärme an die Umgebung ab. Schließlich wird das Kältemittel auf die niedere Anfangstemperatur und den niederen Anfangsdruck gedrosselt. Damit ist der Kreisprozess geschlossen. Der konventionelle Kompressions-Kältemaschinenprozess mit geeigneten Kältemitteln hat beachtliche thermodynamische Vorzüge, ist technisch ausgereift, wirtschaftlich und platzsparend. Er kann zeitlich und mengenmäßig genau eingesetzt werden, was ihm gegenüber solaren Kühlverfahren betriebliche Vorteile verschafft.

Um die investitionsintensive solarthermische Kühlung kostensparend auf kleinere Leistungen hin auslegen zu können, können zusätzlich auch die folgenden Verfahren genutzt werden:

#### **Passive Gebäudekühlung:**

Nachts werden die Räume mit Hilfe kühler Außenluft gekühlt. Allerdings ist der Nutzen beschränkt auf Wärmelasten von maximal  $150\text{ Wh/m}^2$  pro Tag bei mindestens 5-fachem Luftwechsel pro Stunde innerhalb von 6 Nachtstunden, in denen die Außentemperatur wenigstens  $5\text{ °C}$  unter der Raumtemperatur liegen muss. Für ein thermisch hochwertiges Gebäude kann die Nachtlüftung als Ergänzung für andere Kühlsysteme interessant sein – z. B. in Kombination mit einem Erdreich-Wärmeübertrager. Messungen zeigten allerdings, dass man eine gute Anströmung der Speichermassen der Raumdecken braucht, um sie effizient mit Nachtluft kühlen zu können. Deckungsgrade von rund 20 % er-

## LANGFASSUNG

scheinen möglich. Die passive Gebäudekühlung stößt allerdings bei hohen Wärmelasten oder wenig absinkenden Nachttemperaturen, wie sie z. B. in Ballungsgebieten im Hochsommer auftreten, an ihre Grenzen.

**Freie Kühlung:**

Wärmelasten lassen sich dann ohne kältetechnische Anlagen abführen, wenn die Temperaturen, bei denen die Wärmelasten anfallen, höher sind als die Temperatur der Umgebung (etwa der Luft oder des Erdreichs). Solche Bedingungen können z. B. dann vorliegen, wenn – von Menschen oder Maschinen ausgehende – innere Wärmelasten zu hohen Raumtemperaturen führen und niedrigere Außentemperaturen vorliegen; auch können z. B. Erdsonden oder Erdkollektoren von Wärmepumpenanlagen eingesetzt werden, um das Erdreich als Wärmesenke zu nutzen.

**Erst klimafreundlich bauen, dann den restlichen Kühlbedarf sinnvoll decken**

Da die solare Kühlung eine teure Anlagentechnik nötig macht, steht noch vor der solaren Kühlung die Vermeidung bzw. die Verminderung von Wärmelasten durch eine geeignete Gebäudekonstruktion. Dies führt im Neubaubereich zu Gebäuden mit einer hochwertigen Gebäudehülle, die im Sommer möglichst wenig Solarstrahlung eindringen lässt – etwa durch entsprechende Fenster, Verschattungseinrichtungen, Außenjalousien u. ä.. Diese Investitionen sind im Allgemeinen deutlich kostengünstiger als die Investitionen in eine unnötig groß dimensionierte solarthermische Kühltechnik.

**Wirtschaftlichkeit teilweise schwer zu erreichen**

Die solare Klimatisierung ist nach den passiven Verfahren diejenige Kühltechnik, die die größten Primärenergieeinsparungen verspricht. Dabei sind Verfahren der Absorption mit einstufiger Anlagentechnik sowie die offene Sorptionstechnik inzwischen

zur Serienreife gelangt. Dies trifft auf Verfahren der Flüssigsorption, der Diffusions-Absorptions-Kälteerzeugung, der Dampfstrahlkälteerzeugung und der zweistufigen Absorption noch nicht in jeder Hinsicht zu. Die Technik der geschlossenen Adsorption ist für größere Leistungsbeispiele interessant, jedoch nicht für Kleinanwendungen.

Zurückhaltend ist zurzeit die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu bewerten. Hierzu gibt es entsprechende Wirtschaftlichkeitsanalysen über Verfahren zur solarthermischen Kühlung – etwa im Rahmen des EU-Projektes „SACE – Solar Assisted Air Conditioning in Europe“. Ein Grund für mangelnde Wirtschaftlichkeit können z. B. die hohen Gestehungskosten von solarer Wärme sein. Für die Wirtschaftlichkeit sind nicht nur die eingesetzte Technik sowie das zeitliche und mengenmäßige Nutzungsprofil des Kühlbedarfs von Bedeutung, sondern auch die Kosten der Energie, die in der klassischen Kältetechnik (der elektrischen Kompressionskälteanlage) eingesetzt wird. Außerdem spielt der Standort (und damit die solare Einstrahlung während des Kühlbedarfs) eine wichtige Rolle – z. B. ob die Anlage in Madrid oder in Freiburg eingesetzt wird. Daneben sind auch die Wärmegewinne mit der Solaranlage in der Heizperiode zu berücksichtigen.

Umgekehrt gibt es mit der Technik der strom- oder gasbetriebenen Kompressionswärmepumpe ein bewährtes System, das sich im Winter zum Heizen und im Sommer zur ergänzenden Kühlung einsetzen lässt – auch dieses Konkurrenzsystem zur solaren Kühltechnik ist in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu berücksichtigen. Der solare Deckungsgrad spielt eine wesentliche Rolle für die Wirtschaftlichkeitsanalyse des Systems. Durch die hohen Investitionskosten der Solaranlage ist nur die Abdeckung einer Grundleistung sinnvoll; die Installation höherer Leistungen rechnet sich nicht, weil diese nur kurze Zeit – im ungünstigsten Fall nur wenige Betriebsstunden pro

Jahr – abgefragt werden. Damit die Investitionskosten für das solare Kühlen nicht zu hoch werden, sollte versucht werden, die dafür notwendigen thermischen Solarkollektoren auch für andere Zwecke (z. B. zur Trinkwassererwärmung) zu nutzen.

**Absorptionskälteanlagen: Bewährte Technik**

Kostengünstig sind konventionelle „Back-up“-Systeme: entweder Kompressionskälteanlagen oder thermisch arbeitende, gasbetriebene Absorptionskälteanlagen. Beispielsweise ergab die Untersuchung für eine Hotelklimaanlage in Madrid mit einer zu kühlenden Gebäudefläche von 6.430 m<sup>2</sup>, dass bei einem Einsatz von 400 m<sup>2</sup> Flachkollektoren, einer thermischen Speicherkapazität von 16 m<sup>3</sup> und einer einstufigen solaren Absorptionskälteanlage mit 180 kW Kälteleistung eine konventionelle Kompressionskälteanlage als „Back-up“-System sinnvoll ist. Damit ergaben sich 23 Prozent eingesparte Primärenergie im Vergleich zum alleinigen Betrieb einer konventionellen Kompressionskälteanlage.

Erfahrungen liegen auch für einige andere Großanlagen mit solarer Kühlung vor: Beispielsweise werden in Lissabon Büroräume mit Hilfe von 1580 m<sup>2</sup> Flachkollektoren und einer Absorptionskälteanlage mit 545 kW Kälteleistung gekühlt. In einer griechischen Fabrik wird mit 2700 m<sup>2</sup> Flachkollektoren eine Kälteanlage mit 700 kW Kälteleistung betrieben. Ein interessanter Ansatz für Großanlagen ist auch die Nutzung konzentrierender Kollektoren: Parabolrinnen- und Fresnel-Kollektoren können Solarwärme in einem Temperaturbereich oberhalb von 120 °C bereitstellen. Damit lassen sich zweistufige Absorptionskälteanlagen betreiben, die eine höhere Effizienz als einstufige Anlagen aufweisen und deshalb mit einer kleineren spezifischen Kollektorfläche und Rückkühlung auskommen.

Vorteile für eine thermische Kälteerzeugung mit einer Absorptionskälteanlage könnten sich überall dort

## LANGFASSUNG

eröffnen, wo diese als Erweiterung bestehender solarer Heizsysteme installiert werden kann oder wo Abwärme oder Fernwärme als Heizquelle oder „Back-up“ in ausreichender Menge zur Verfügung steht.

War die Technik von Absorptionskälteanlagen bisher für größere Kälteleistungen interessant, steht diese inzwischen auch für den kleinen Leistungsbereich zur Verfügung: Erfahrungen mit Kleinanlagen von 15 Kilowatt bis herab zu 1,5 Kilowatt Kälteleistung liegen vor; allerdings bleibt deren Effizienz hinter größeren thermisch getriebenen Systemen zurück.

### **Technisch weit entwickelt: Die Sorptionsgestützte Klimatisierung**

Positive Betriebserfahrungen liegen bei der offenen Adsorption (Sorptionsgestützte Klimatisierung) mit so genannten „Sorptionsrädern“ vor. Die Leistungsfähigkeit, das Betriebsverhalten und der Wartungsbedarf dieser bereits seit den 1990er Jahren verfügbaren Technik sind gut doku-

mentiert; entsprechende technische Optimierungslösungen sind erforscht und entwickelt z. B. im Hinblick auf eine feuchteabhängige Regelung, auf optimale Rotationsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Zu- und Ablufttemperaturen, -feuchten und -volumenströme und der Art des Sorptionsrads. Bei der Sorptionsgestützten Klimatisierung werden in der Praxis eher Lösungen verwirklicht, bei denen Niedertemperaturwärme aus Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung oder aus industriellen Produktionsanlagen (Abwärme) verwendet wird, statt dass Wärme aus solarthermischen Anlagen genutzt wird.

Neuere Entwicklungen gibt es bei der Sorptionsgestützten Kühlung mittels wässriger Salzlösungen. Vor zwei Jahrzehnten begonnen, liegen Erfahrungen mit Anlagen vor, bei denen zur sorptiven Entfeuchtung eine wässrige Lithiumchlorid-Lösung genutzt wird, die mittels Solarenergie regeneriert wird. Gekühlt wird indirekt über eine adiabate Abluftbefeuchtung. Steuerung und Regelung sind für den ganzjährigen Betrieb

integriert. Zur Regeneration der Salzlösung dient solare Niedertemperaturwärme aus Flach- oder Vakuumkollektoren. Die Bereiche Absorption und Regeneration der Salzlösung können räumlich und funktionell voneinander getrennt werden, so dass sie nicht zeitgleich ablaufen müssen. Deshalb kann das Angebot solarer Wärme gut genutzt werden. Ein Speichertank für die angereicherte Sole bietet die Möglichkeit der praktisch verlustlosen Speicherung von Energie, die bei einem Kühl- bzw. Entfeuchtungsbedarf abgerufen werden kann. Die Speicherdichte ist je nach der verwendeten Konzentrationsdifferenz etwa zwei bis dreimal so hoch wie bei einem Eisspeicher.

### **Dampfstrahlkälteprozess**

Als weitere Technik könnte der Dampfstrahlkälteprozesses zur Erzeugung solarer Kälte künftig eine Rolle spielen: Bei ihm gelten das dynamische Verhalten und gute Teillastwirkungsgrade bei vergleichbar geringen Anlagenkosten als interessante Eigenschaften. ■