

Wärme und Kälte aus der Sonne

Zeolith macht verlustlose Speicherung möglich

von S. Müller, S. Zech

Die thermische Nutzung solarer Energie ist bisher auf hohe und mittlere Temperaturen beschränkt. Die Umwandlung solarer Energie in Kälte und Wärme sowie deren verlustlose Speicherung ist mit einer neuen Art von Feststoff-Wärmepumpen möglich, die nur mit natürlichen und daher umweltverträglichen Stoffen arbeitet. – Im folgenden werden zunächst die technischen Grundlagen der „Sorptions-technik mit dem Stoffpaar Wasser/Zeolith“ beschrieben. Anschließend werden eine solar unterstützte Wärmepumpe zur Bereitstellung von Wärme und/oder Kälte und ein solar betriebener Kühlschrank vorgestellt.

Der grundlegende Effekt der im folgenden beschriebenen Kälte- und Wärmeerzeugung beruht auf den physikalischen Eigenschaften des natürlichen Minerals Zeolith, das in Abb. 1 dargestellt ist.

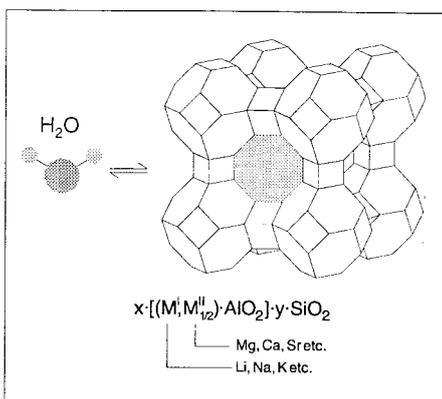


Abb. 1: Kristall des A-Zeoliths

Zeolith ist chemisch dem normalen Sand ähnlich, bildet jedoch keine kompakten Moleküle, sondern Kristalle mit extrem großen inneren Oberflächen von 800 bis 1.200 m²/g. Innerhalb der Hohlräume wirken starke elektrostatische Kräfte, aufgrund derer polare Moleküle wie z. B. Wasser, heftig angesaugt und anschließend unter Wärmeabgabe in die Kristallstruktur eingebunden werden (Adsorption).

Erfolgt ein solcher Prozeß in luftleeren Behältern, geschieht das An-

saugen des Dampfes von einer Wasseroberfläche im Verdampfer-Behälter mit solcher Heftigkeit, daß sich aufgrund der hohen Verdampfungskälte der Rest des Wassers stark abkühlt und zu Eis gefriert, wobei Minimaltemperaturen von -20°C erreicht werden. Diese können zum Kühlen von Lebensmitteln und Getränken oder zum Klimatisieren von Räumen genutzt werden, während gleichzeitig die im Zeolith freiwerdende Wärme zur Erwärmung z.B. von Brauchwasser verwendet werden kann.

Betrachtet man das Aggregat als Wärmepumpe, wird Wärme auf niedrigem Temperaturniveau (Kälte) aufgenommen und auf hohem Temperaturniveau wieder abgegeben.

Bei geschlossenem Ventil zwischen den beiden Behältern kann die Kälte- bzw. Wärmeerzeugung unbegrenzt lange ohne Energieverlust unterbrochen und später wieder fortgesetzt werden.

Der erste Teilprozeß dieses Prozesses läuft so lange, bis der Zeolith mit Wasser gesättigt ist, das bedeutet ca. 20 Massenprozent an Wasser aufgenommen hat, oder bis kein Wasser mehr im Verdampfer vorhanden ist.

Anschließend erfolgt in einem zweiten Teilprozeß durch Zufuhr von Heizwärme hoher Temperatur zum Zeolith eine Umkehrung des Prozesses (Desorption).

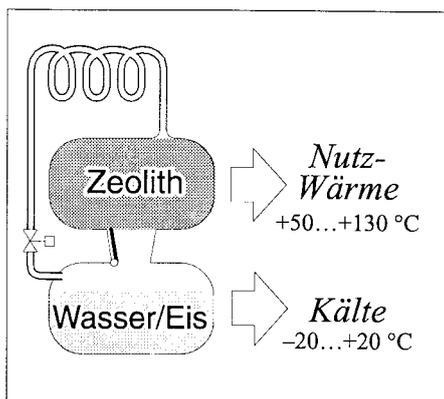


Abb. 2: Adsorption

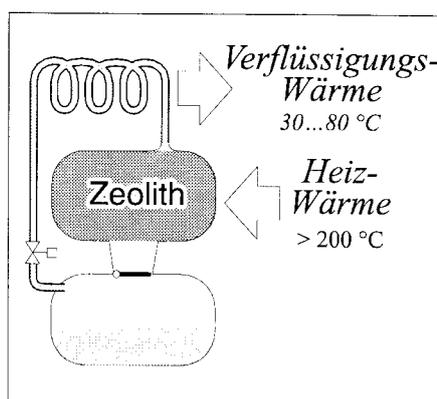


Abb. 3: Desorption

Bei geschlossener Klappe zwischen Verdampfer und Zeolithbehälter wird das Wasser dampfförmig aus dem Zeolith ausgeheizt, strömt durch eine Verflüssigerschlange, wo es seine Verflüssigungswärme abgibt, und gelangt schließlich in flüssiger Form über ein Ventil zurück in den Verdampfer. Die Prozesse des Aufnehmens und Abgebens von Wasserdampf sind unbegrenzt wiederholbar.

Energie-Effizienz

Wird ein solches Sorptions-Aggregat für Heiz- und Kühlzwecke verwendet, so wird bei einem Einsatz von 100 % Antriebswärme und 30 % Umgebungswärme (die dort als Kälte genutzt wird) 130 % Nutzwärme bereitgestellt. Der Gesamtnutzen aus zugeführter Wärme und dem Kühleffekt der Umgebung entzogener Kälte beträgt also insgesamt 160 %.

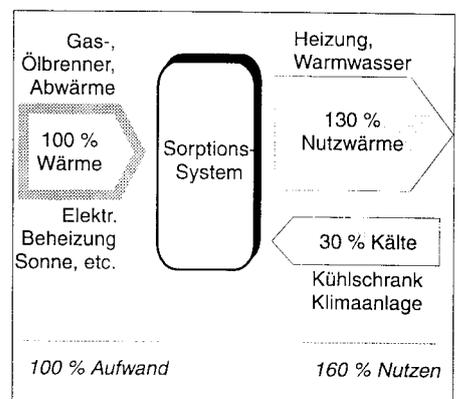


Abb. 4: Energiefluß-Diagramm

Selbst bei elektrischem Antrieb können also mit einem Sorptionsaggregat Energieverbrauch und CO₂-Emission reduziert werden. Erfolgt der Antrieb mittels anderer Energieformen – also z. B. mittels Gas, Prozeßabwärme oder solarer Energie – sind Einsparpotential und Umweltverträglichkeit beträchtlich höher.

Solarunterstützte Sorptions-Wärmepumpe

Diese Wärmepumpe stellt für Haushalts- und Gewerbebezwecke Wärme und Kälte z. B. zur Warmwasserbereitung und Heizung sowie zum Kühlen und Klimatisieren zur Verfügung. Aufgrund des Sorptionswärmepumpen-Effekts werden mit diesem System bereits ohne solare Unterstützung gegenüber konventionellen Warmwassererzeugern mindestens 25 % Antriebsenergie sowie

die damit verbundenen CO₂-Emissionen eingespart. Es ist die Weiterentwicklung eines zentralen Sorptions-Systems, das mit Unterstützung des bayerischen Wirtschaftsministeriums im Rahmen des Förderprogramms „Rationellere Energiegewinnung und -verwendung“ entwickelt wird.

Das System besteht in seinen Hauptkomponenten aus einem großen Boiler und einem Verdampfer/Eisbehälter sowie einem Zeolithbehälter (Sorber), der über Wärmeaustauscher mit dem Boiler und über einen Dampfströmungskanal mit dem Verdampfer/Eisbehälter verbunden ist. Über Wasserkreisläufe kann sowohl in den Boiler als auch in den Verdampfer Wärme aus einem Solarkollektor eingekoppelt werden.

Die Prozesse laufen wie folgt ab: Der Zeolithbehälter wird mit Gas oder elektrischer Energie beheizt. Der dabei aus dem Zeolith ausgetriebene Wasserdampf strömt in den innerhalb des Boilers gelegenen Verflüssiger, kondensiert dort unter Abgabe der Verflüssigungswärme – wodurch das Boilerwasser erwärmt wird – und gelangt als flüssiges Wasser zurück in den Verdampfer. Die nach Abschluß des Desorptionsprozesses im Zeolith enthaltene fühlbare Wärme wird ebenfalls an das Boilerwasser über den Zeolithwärmeaustau-

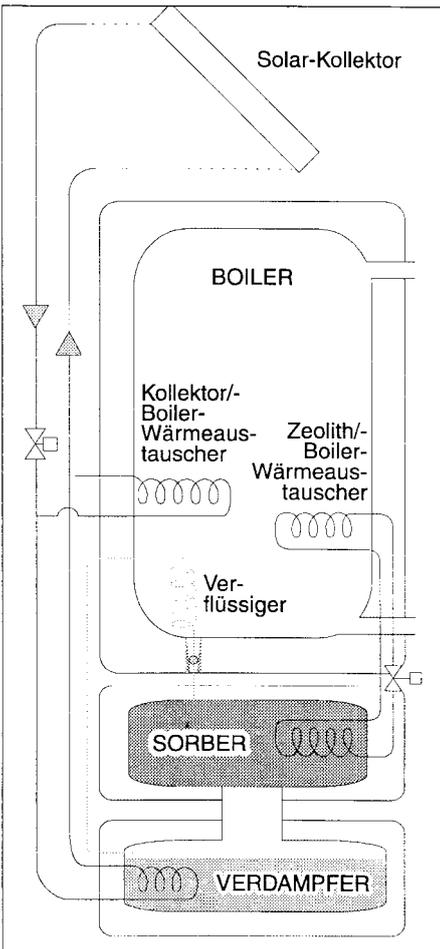


Abb. 5: Solarunterstütztes System

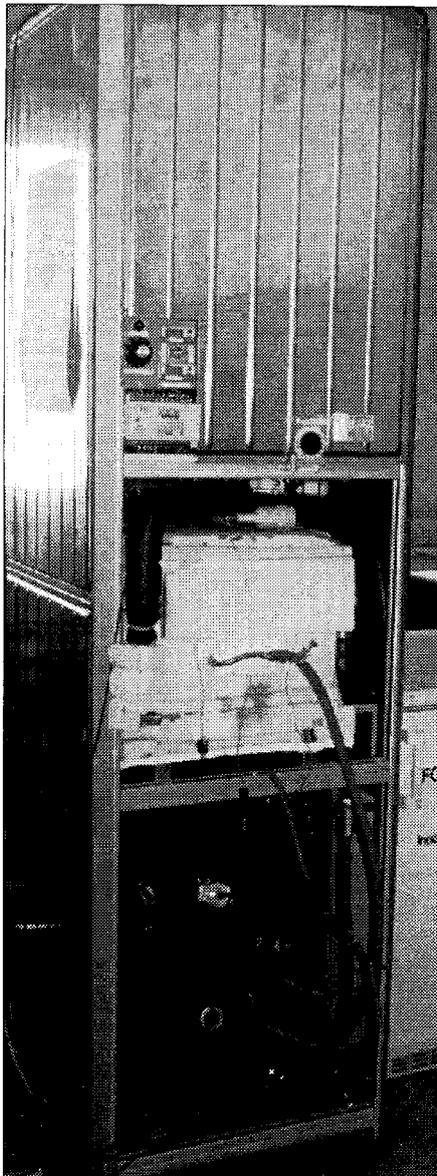


Abb. 6: Zentrales Sorptionssystem

scher übertragen, dessen Temperatur dadurch weiter steigt. Ist die Zeolithschüttung ausreichend abgekühlt, wird Wasserdampf adsorbiert. Dadurch gefriert das Wasser im Verdampfer zu Eis. Der Eisbehälter stellt einen Speicher dar, dessen „Kälte“ über einen Entnahmekreislauf ausgekoppelt werden kann. Die bei der Adsorption in der Zeolithschüttung freiwerdende Adsorptionswärme wird ebenfalls über den Kühlkreislauf an das Boilerwasser übertragen.

Durch die Einkopplung von solarerwärmtem Wasser kann bei hoher Sonneneinstrahlung die Energie direkt dem Boilerwasser übertragen werden. Ist die Einstrahlung gering, wird die Niedertemperaturwärme mittels Wärmeaustauscher in den Verdampfer übertragen, wo sie die Verdampfung bewirkt bzw. antreibt. Das verdampfte Wasser wird im Zeolithbehälter adsorbiert und setzt dadurch Wärme auf hohem Temperaturniveau frei, die wiederum mittels Wärmeaustauscher an das Boiler-

wasser übertragen wird. Auf dem Umweg über den Verdampfer wird die aus dem Solarkollektor gewonnene Niedertemperaturwärme genutzt und aufgrund des Wärmepumpen-Effekts auf hohem Temperaturniveau bereitgestellt. So können selbst minimale Energieströme des Solarkollektors genutzt werden.

Solarkühlschrank-System

Das solar angetriebene Sorptions-Kühlschranksystem ist für den Einsatz in Entwicklungsländern bzw. in Gebieten mit hoher Sonneneinstrahlung entwickelt worden.

Das Kernstück des Systems ist ein Parabol-Kollektor, der als Solarkocher von der EG Solar in Altötting hergestellt und vertrieben wird. Die Sonnenenergie wird gebündelt und so zur Regeneration einer Zeolithpatrone verwendet. Nach erfolgter Regeneration wird diese Patrone mit einem Kühlschrank verbunden, in dem ein geeigneter Wasser-Verdampfer eingebaut ist.

Zur Desorption wird der Behälter mit gesättigtem Zeolith für ca. drei Stunden in den Solarkollektor gehängt und dort auf Temperaturen von über 200°C aufgeheizt. Nach einer anschließenden Abkühlzeit kann er wieder für einen Kühlvorgang eingesetzt werden. Damit auch Perioden mit geringer Sonnenstrahlung überbrückt werden können, sind mehrere Zeolithbehälter vorgesehen, die im desorbierten Zustand aufbewahrt werden und so als Kältespeicher dienen.

Desorption – Regeneration

Abb. 8 zeigt den Verlauf der Temperaturen ① und ② im Zeolithbehälter sowie die an der Außenfläche ge-

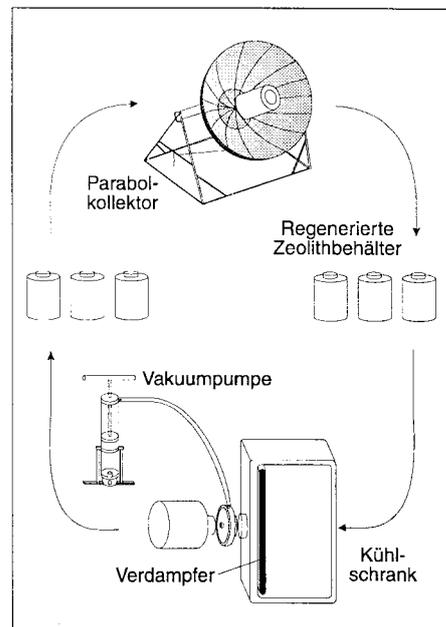


Abb. 7: Solar-Kühlschrank

gemessene Behälterboden-Temperatur ③ während einer Desorption. Zusätzlich ist über der Zeit die Einstrahlungsintensität dargestellt. Die Messung erfolgte in München bei wolkenlosem Himmel und einer Umgebungstemperatur von 18°C. Die Temperatur des Behälterbodens erreicht nach ca. 15 Minuten eine Temperatur von 200°C und nach einer Stunde von ca. 280°C. Anschließend behält sie bis fast zum Ende der Messung ein Niveau zwischen 250°C und 280°C bei. Die Zeolithtemperaturen im mit Wärmeleitblechen versehenen Behälter folgen dem Temperaturverlauf am Behälterboden mit einiger Verzögerung. Drei Stunden nach Versuchsbeginn werden 200°C und nach etwas mehr als vier Stunden werden Maximaltemperaturen um 235°C erreicht. Die erreichten Endtemperaturen sowie die geringe Temperaturdifferenz innerhalb der Zeolithschüttung zeigen, daß eine ausreichende Desorption der gesamten Zeolithschüttung erzielt wurde.

Adsorption – Kälteerzeugung

Zur Kälteerzeugung wird, wie in Abb. 7 dargestellt, ein regenerierter Zeolithbehälter mit einem Wasser-

Verdampfer verbunden, der sich in einem kleinen Kühlschrank befindet. Mittels einer Handvakuumpumpe wird das System zu Beginn evakuiert. Nach der Ankopplung des Zeolithbehälters und der Evakuierung beginnt bei ausreichend niedrigem Druck eine heftige Verdampfung des Wassers, das bei Unterschreiten des Tripelpunktes und einem Druck von 6,11 mbar einfriert.

Die Verdampfer- sowie die Innenraumtemperaturen über einem Zeitraum von einem Tag zeigt Abb. 9. Zusätzlich ist der Temperaturverlauf am Sorberbehälter (außen am Behälter gemessen) über der Zeit aufgetragen, der Erkenntnisse über die freiwerdende Adsorptionswärme im Sorberbehälter liefert.

Die Temperaturen beginnen bei 22°C, steigen stark an, erreichen nach einer halben Stunde den Maximalwert von 65°C und fallen dann langsam wieder ab. Aufgrund der Wärmeleitung durch den Behälter kann auf die Zeolithtemperaturen geschlossen werden, die bis zu 120°C erreichen. Die Temperaturen am Verdampfer fallen innerhalb von vier Minuten nach dem Start auf ein Temperaturniveau unter den Gefrierpunkt.

Nach ca. 6,5 Minuten ist ein Eisprung zu erkennen. Es handelt sich bei diesem Effekt um die beim Einfrieren des Wassers freiwerdende Erstarrungs- bzw. beim Schmelzen zuzuführende Schmelzwärme. Die am Verdampfer gemessenen Temperaturen erreichen nach ca. fünf Stunden Tiefstwerte von bis zu -10,5°C. Über einen Zeitraum von 23 Stunden bleiben die Temperaturen unter dem Gefrierpunkt. Danach beginnt das Eis zu schmelzen, was an dem raschen Anstieg der Temperatur zu erkennen ist.

Die Lufttemperatur im Innenraum des Kühlbehälters fällt innerhalb einer Stunde auf ca. 8°C und erreicht nach vier Stunden den Gefrierpunkt. Nach weiteren vier Stunden erreicht der Innenraum mit -4,5°C seine geringste Temperatur. Die Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes werden über einen Zeitraum von 17 Stunden gehalten. Temperaturen unter 8°C, die für die Lebensmittelkühlung ausreichend sind, werden bis zu 34 Stunden gehalten.

Das Kälteaggregat ist so konzipiert, daß es ohne großen Werkzeugaufwand in den betreffenden Ländern hergestellt werden kann. Wartungsarbeiten und Reparaturen können aufgrund des einfachen Aufbaus des Kälteaggregates vor Ort durchgeführt werden. Defekte Kompressor-Kühlschränke, die in Entwicklungsländern als Zivilisationsabfall anfallen, können mit dieser Technologie wieder nutzbar gemacht werden.

Literatur

- /1/ Maier-Laxhuber, P., Sorptionswärmepumpen und Sorptionsspeicher mit dem Stoffpaar H₂O-Zeolith, Dissertation, TU München, 1980
- /2/ Schwarz, J., Alternative to Alternatives, Washington Conference, 1995
- /3/ Zech, S., Kühlschrank mit solarem Antrieb, ki, Nr. 5, 1995
- /4/ Müller, S., Solare Kühlung, Solartagung München, 1995
<http://ourworld.comuserve.com/homepages/ZeoTech>

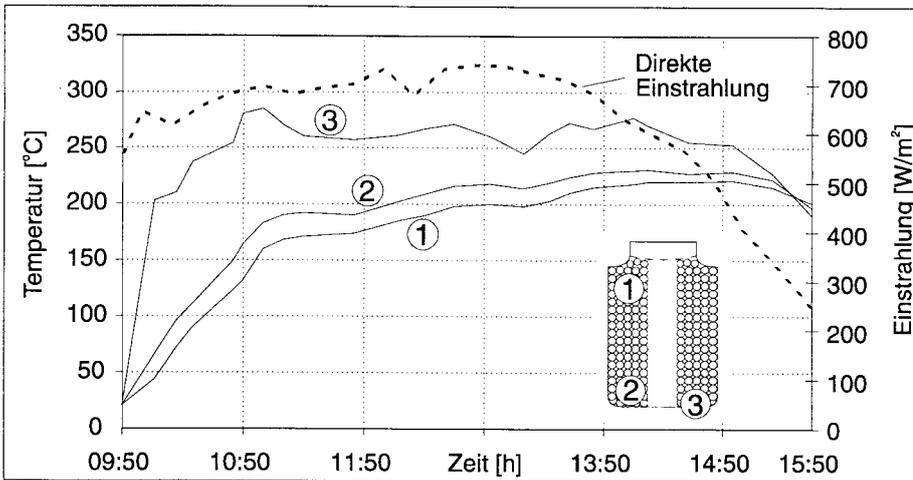


Abb. 8: Zeolithtemperaturen bei solarer Desorption

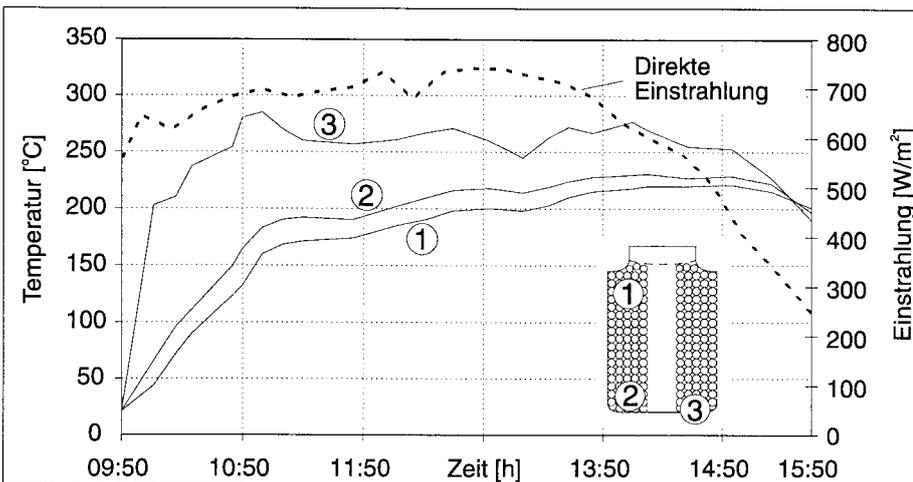


Abb. 9: Verdampfer- und Innenraumtemperaturen bei Adsorptionsprozeß

Dipl.-Ing. Stefan Müller ist seit 1993 bei der Firma ZEO-TECH in Unterschleißheim bei München als Entwicklungsingenieur für solar angetriebene Sorptionsaggregate tätig.
 Dipl.-Ing. Stephan Zech ist seit diesem Jahr bei der EG Solar in Altötting beschäftigt. In seiner Diplomarbeit entwickelte er ein einfaches Kühlsystem mit einem Solarkocher der EG Solar.
 In einer Kooperation entwickeln die Firma ZEO-TECH und die EG Solar gemeinsam ein Kühlsystem für Entwicklungsländer in Kombination mit dem EG-Solarkocher. Dieser Spiegel wird mittlerweile in 80 Ländern der Erde gebaut und genutzt.