

... EINE ZEOLITH-GAS-WÄRMEPUMPE?

# Wunderkörner

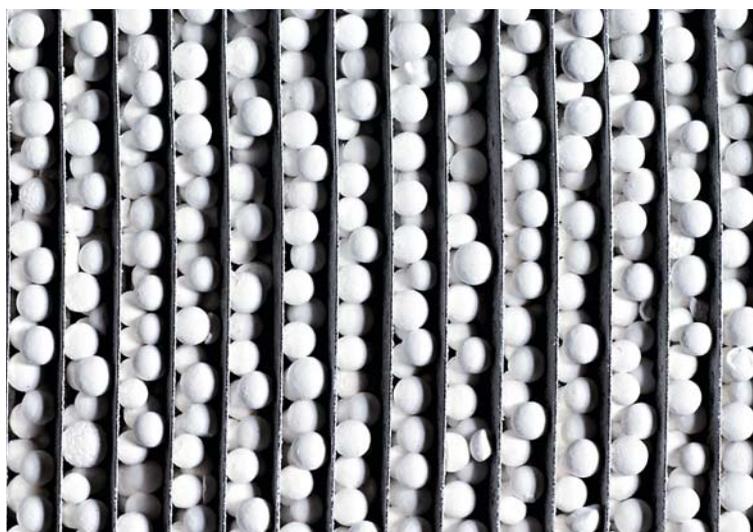


Bild: Vaillant

Wärmepumpen arbeiten in der Regel mit einem Kompressor, also einem bewegten und leistungshungrigen Bauteil. Nicht so die wundersame Zeolith-Gas-Wärmepumpe, die wir in diesem Bericht beschreiben.

Zeolith-Granulat in einem Lamellenwärmetauscher

**E**ffizienzsteigerung ist wichtig, ohne Frage. Man will beispielsweise aus einem zur Verfügung gestellten Brennstoff ein Maximum an Wärme rausholen. Es wundert daher nicht, wenn die Entwickler von Vaillant oder Viessmann das Gas-Brennwert-Gerät immer noch nicht als Krönung der Schöpfung anerkannt haben und weiter forschen und entwickeln. Denn auch wenn für diese Brennwertkessel nun wirklich der letzte Prozentpunkt an Wirkungsgrad herausgekitzelt scheint, kann man durch Ankopplung eines weiteren Moduls eine trickreiche und spannende Verbesserung erzwingen. Aber lesen Sie selbst.

## ÜBERLEGUNG DER ENTWICKLER

Es darf ruhig noch ein Feuerchen entfacht werden, um letztlich hohe Temperaturen erzeugen zu können. Aber wenn man schon Gas abfackeln muss, um dieses Feuerchen effizient und geregelt zu erzwingen, dann soll auch ein Teil der später abgegebenen Wärme aus der Umgebung stammen. So oder so ähnlich war wohl die Vorgabe für die Entwickler.

Wie also sollte man ohne die bewegten Teile einer Wärmepumpe tatsächlich Wärme aus eiskalter Winterluft entstehen lassen? Die Antwort darauf fand man im sogenannten Adsorptionsprozess. Diesen erklären wir stufenweise bei

gleichzeitiger Beschreibung der physikalischen Hintergründe. Der Prozess funktioniert in der Praxis übrigens tadellos. Vielleicht haben Sie ja jetzt sogar Lust, diesen Entwicklungsprozess gedanklich nachzuvollziehen?

## WUNDERSAME KÖRNER

Bei Zeolithen handelt es sich um feste Kristalle mit ungewöhnlich großen Hohlräumen. Ein Kilogramm dieses Materials besitzt innerhalb der Körnchen eine Fläche von 800 bis 1200 m<sup>2</sup>.

Der griechische Name klärt über eine herausragende Eigenschaft auf. Das Wort *zeein* steht für „sieden“ und *lithos* für „Stein“. Die Namensgebung „siedender Stein“ rührt von der Tatsache, dass dieser Stein, wenn er sich mit Wasser vollgesaugt hat, dieses beim Erhitzen wieder abgibt. Diese Wasserabgabe geschieht während eines dem Sieden ähnlichen, lebhaften Brausens. Nun reicht dieses Brausen und Zischen nicht aus, dem Stoff irgendwelche besonderen Eigenschaften zuzuordnen, denn beispielsweise Lehm nimmt ja auch Wasser auf und gibt es bei Wärmezufuhr wieder ab. Den gebackenen Lehm nennt man dann abschließend Ziegel und nicht Zeolith.

Zeolithe haben aber zusätzlich eine ausgesprochene Gier nach Wasser, was gemeinhin als hygroskopisch bezeichnet wird.

Und als tolle Besonderheit erwärmen sich Zeolithe, während sie Wasser aufnehmen.

Bei dem nachfolgend als Foto dargestellten Experiment wurden trockene Zeolithe in eine Schüssel gegeben und ein Temperaturmessgerät zwischen den Zeolith-Körnern eingetaucht. Die Ausgangstemperatur betrug 19,3°C. Dann wurden die Körner mit Wasser besprüht, das ebenfalls eine Temperatur von 19,3°C aufwies. Sofort stellte sich eine Erhöhung der Temperatur ein und nach 20 Sekunden waren 51,7°C erreicht.



**Zu Beginn des Versuchs betrug die Temperatur der trockenen Körner und des Wassers 19,3°C**



**Nur durch das Besprühen mit Wasser stieg die Temperatur rund um die Körner auf 51,7°C**

Erst dieses Phänomen macht Zeolithe zu etwas Besonderem und hängt mit ihrer großen inneren Oberfläche zusammen. Diese Körnchen neigen dazu, Wassermoleküle unter Wärmeabgabe einzulagern, vorausgesetzt, sie sind noch nicht satt, also noch nicht vollgesogen mit Wasser.

Einerseits binden Zeolithe also gierig das Wasser aus der Umgebung, was man als Adsorption bezeichnet. Die Zeolithe erhitzen sich während des Adsorptionsprozesses, also während der Durchfeuchtung.

Andererseits kann man den Zeolithen dieses Wasser durch Zuführung von Hitze auch wieder austreiben. Das nennt man dann Desorption. Die Körner unterliegen während dieser Prozesse keinem Verschleiß.

## DIE ERSTEN SCHRITTE

Man kann sich nun sehr leicht vorstellen, dass man einerseits diese Zeolithe mit Wasser in Berührung bringt und sich diese Körner erwärmen. Die Temperatur der Erwärmung reicht locker aus, um eine Fußbodenheizung auf Temperatur zu bringen. Wenn die Körnchen vollgesogen sind, kommt der Prozess dann aber doch sehr schnell zum Erliegen. Um das Wasser aus den Körnern auszutreiben, kann man diese erhitzen. In der Praxis kann ein Brennwertgerät dies übernehmen. Die Temperatur reicht dann allemal aus, einerseits die Desorption zu gewährleisten und andererseits wiederum eine Heizung zu betreiben. Das Wechselspiel sieht dann so aus.

**1. Adsorption** Die Zeolithe nehmen Wasser auf und erwärmen sich dabei. Diese Wärme wird schon mal ans Heizsystem abgegeben.

**2. Desorption** Den Zeolithen wird das aufgenommene Wasser durch Zufuhr von Hitze wieder ausgetrieben. Die zugeführte Hitze wird ebenfalls dem Heizsystem übertragen.

Es stellt sich noch die Frage, wie denn wohl diese beiden Prozesse nacheinander ablaufen können und wie letztlich dann auch noch kostenlose Umweltwärme für diesen Prozess beigesteuert werden kann. Dazu bedarf es einiger Tricks. Grundlage für diese Tricks sind allerdings die Eigenschaften von Wasser, die wir kurz zusammenstellen.

## WASSER IN DIESEM PROZESS

Wasser verdampft bei 100°C, wenn es einem Umgebungsdruck von gewöhnlichen 1000 Millibar

p mbar	θ °C	p mbar	θ °C
0,001	-76,19	35	26,69
0,002	-71,74	36	27,17
0,003	-69,04	37	27,64
0,004	-67,08	38	28,10
0,005	-65,53	39	28,54
0,006	-64,25	40	28,98
0,007	-63,15	42	29,83
0,008	-62,19	44	30,64
0,009	-61,34	46	31,42
0,01	-60,57	48	32,17
0,02	-55,37	50	32,90
0,03	-52,20	52	33,60
0,04	-49,90	54	34,27
0,05	-48,08	56	34,93
0,06	-46,57	58	35,57
0,07	-45,28	60	36,18
0,08	-44,14	62	36,78
0,09	-43,14	64	37,37
0,1	-42,23	66	37,93
0,2	-36,06	68	38,49
0,3	-32,29	70	39,03
0,4	-29,55	72	39,55
0,5	-27,38	74	40,06
0,6	-25,57	76	40,57
0,7	-24,02	78	41,06
0,8	-22,67	80	41,54
0,9	-21,46	85	42,69
1	-20,36	90	43,79
1,5	-16,07	95	44,84
2	-12,94	100	45,84
2,5	-10,45	110	47,71
3	-8,38	120	49,45
3,5	-6,61	130	51,06
4	-5,06	140	52,58
4,5	-3,67	150	54,00
5	-2,42	160	55,34
5,5	-1,27	170	56,62
6	-0,22	180	57,83
7	1,89	190	58,99
8	3,77	200	60,09
9	5,46	220	62,17
10	6,98	240	64,09
11	8,38	260	65,88
12	9,66	280	67,55
13	10,86	300	69,13
14	11,98	320	70,62
15	13,03	340	72,03
16	14,02	360	73,38
17	14,96	380	74,66
18	15,85	400	75,89
19	16,70	420	77,07
20	17,51	440	78,20
21	18,28	460	79,29
22	19,03	480	80,33
23	19,74	500	81,35
24	20,43	550	83,74
25	21,09	600	85,96
26	21,73	650	88,02
27	22,35	700	89,96
28	22,95	750	91,78
29	23,53	800	93,51
30	24,10	850	95,15
31	24,64	900	96,71
32	25,18	950	98,20
33	25,69	1000	99,63
34	26,20		

ausgesetzt ist. Wird der Druck gesenkt, sinkt auch die Verdampfungstemperatur. In einem Urlaubsflieger beträgt der Druck beispielsweise nur noch rund 800 mbar und Wasser kocht dort bereits bei 93 °C. Einigen Stewardessen und Stewards soll es daher gelingen, den Kaffee auf der bloßen Handfläche zum Brodeln zu bringen, aber das könnte auch ein Gerücht sein.

Fakt ist aber beispielsweise, dass im Kochtopf eines Everest-Bezwingers nur noch ein Druck von ca. 300 mbar herrscht, und dann köchelt es bereits bei 70 °C. Sinkender Druck sorgt also gleichzeitig für einen sinkenden Siedepunkt des Wassers. Entzieht man einem geschlossenen Behälter mit einer kleinen Wasserpfütze am Boden immer mehr Luft, so kann eine Umgebung geschaffen werden, bei der die Wasserpfütze bereits bei normaler Raumtemperatur von vielleicht 20 °C verdampft. Dies wäre der Fall bei einem absoluten Druck von rund 24 mbar, also 976 mbar unter den eben genannten 1000 mbar, die wir üblicherweise als normal empfinden.

Fakt ist auch, dass Wasser, wie jede andere Flüssigkeit, Energie benötigt, um zu verdampfen. Wenn also der sehr geringe Umgebungsdruck das Wasser zum Verdampfen zwingt, dann wird zwangsläufig Wärmeenergie aus der Umgebung entzogen, sprich: Es wird kalt. Erhöht man den Druck in diesem Behälter wieder, so kann sich der Prozess umkehren. Das bedeutet, bei steigendem Druck wird Wasser wiederum flüssig und gibt dabei die soeben aus der Umgebung entnommene Wärmeenergie wieder ab. Wasser lässt sich also nicht nur, wie aus dem Alltag bekannt, mittels Temperatur zum Kochen bringen, sondern eben auch durch eine Druckänderung. Solche Druckänderungen erleben wir im Alltag aber nur sehr selten hautnah. Die Hoch- und Tiefdruckgebiete unterschiedlicher Wetterlagen haben so gut wie keine Auswirkungen auf das Kochen von Kartoffeln.

## ZUSAMMENSPIEL DER KRÄFTE

Die Entwickler der Zeolith-Gas-Wärmepumpe gossen mit Augenmaß ein wenig Wasser in einen Behälter. Über der entstandenen Wasserpfütze wurden die nach Wasser gierenden Zeolithe in einem von allen Seiten zugänglichen Netz aufgehängt. Durch dieses Netz mit den Zeolithen führte man ein paar Heizrohre. Es mussten ausreichend viele Heizrohre sein, um das Zeolith, wenn es mal mit Wasser vollgesogen ist, auch wieder in angemessener Zeit zu trocknen.

Unten, durch die Wasserpfütze, wurden ebenfalls Heizrohre verlegt, ausreichend, um das Wasser komplett verdampfen zu

Dampfdrucktabelle für Wasser

lassen. Und dann verschloss man diesen Behälter allseitig und schweiß ihn dicht. Nur ein winziger Nippel blieb offen. An diesem Nippel wurde eine Vakuumpumpe angeschlossen, die nun fröhlich vor sich hin saugte. Schluss war erst bei einem Druck von absolut nur noch 5 mbar. Der Nippel wurde nun ebenfalls hermetisch abgedichtet und der sehr geringe Druck im Behälter blieb ohne Mühe erhalten. Man erinnere sich, der normale Umgebungsdruck beträgt um die 1000 mbar und war somit 200-mal höher als in diesem Behälter.

## WIE GEHT'S WEITER?

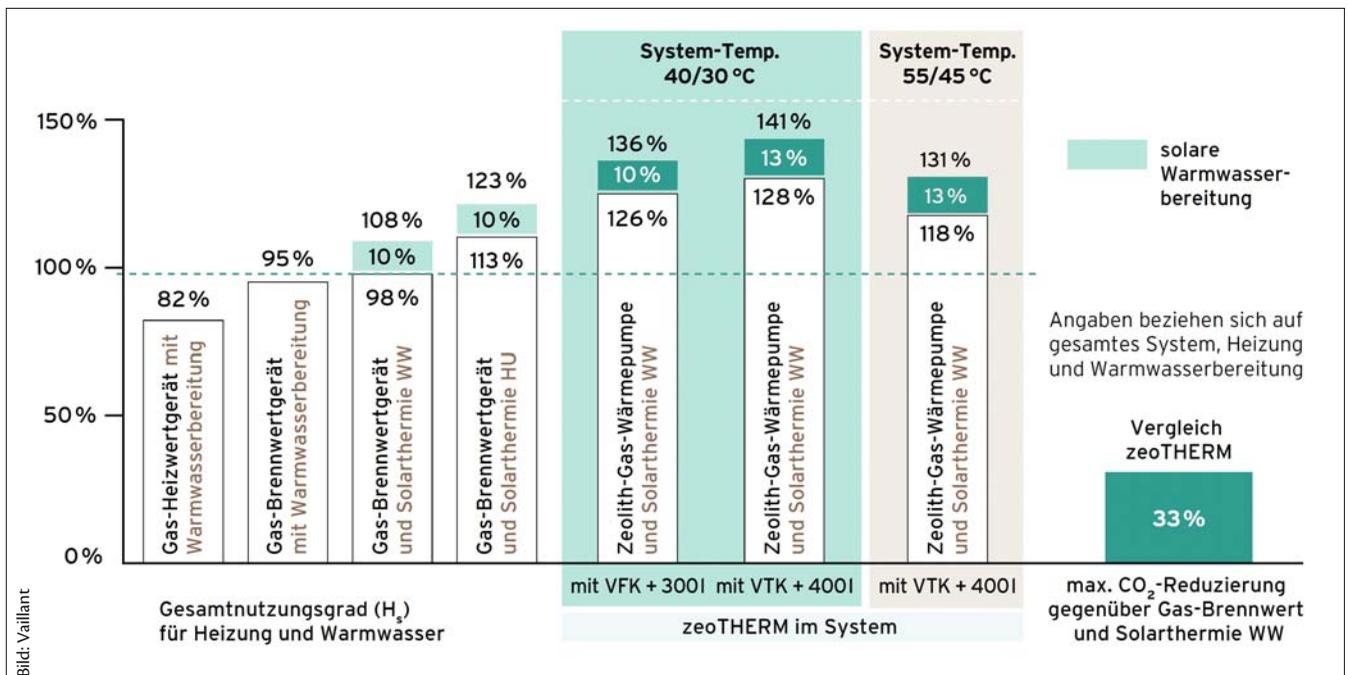
Oben in diesem Behälter befindet sich also in einem Netz und gierig nach Wasser lechzend das Zeolith. Unten befindet sich eine Pfütze mit Wasser. Der Druck ist extrem niedrig. Das Wasser möchte unter diesen Druckbedingungen bereits bei  $-2^{\circ}\text{C}$  verdampfen und dabei natürlich die Verdampfungswärme aufnehmen. Damit wäre die Adsorption eingeleitet, denn die Zeolithe würden an den Wasserdampf gelangen. Sobald aber die Umgebung in der Pfütze kühler wird als  $-2^{\circ}\text{C}$ , stoppt der Prozess. So wie Wasser bei 1000 mbar und Temperaturen unter  $100^{\circ}\text{C}$  aufhört zu kochen, wird es bei nur noch 5 mbar Umgebungsdruck bei Temperaturen unter minus  $2^{\circ}\text{C}$  aufhören zu kochen.

Aber es liegen ja noch die Heizschlangen unten in der Pfütze. Hier kann jetzt Energie zugeführt werden, zum Beispiel aus der Umgebung. Bereits Temperaturen über minus  $2^{\circ}\text{C}$  reichen ja aus, um das Wasser zu verdampfen. Also lässt man

diesen Austausch an Wärme aus der Umgebung zu. Als Energiequelle bietet sich beispielsweise eine Solaranlage an. Selbst im Winter wird die Absorberfläche bei einigermaßen Einstrahlung auch eine ausreichende Temperatur anbieten können. Das Wasser verdampft also irgendwann und wird eifrig vom Zeolith gebunden, was eine Temperaturerhöhung zur Folge hat. Diese Temperaturerhöhung ist sehr willkommen und wird an das Heizsystem abgegeben. Irgendwann sind die Kristalle voll gesaugt und der Adsorptionsprozess kommt zum Erliegen.

## VOLLGESAUGT – UND DANN?

Das Netz mit den vollgesaugten Kristallen kann nun erhitzt werden, man erinnere sich an die durchgeschliffenen Heizrohre. Bei rund  $120^{\circ}\text{C}$  kocht man dem Zeolith die Wasseranteile wieder raus. Dies kann durch einen konventionellen Gas-Umlaufwasserheizer geschehen oder – wenn man schon mal Energieeffizienz anstrebt – natürlich mittels Brennwertgerät. Der Druck im Behälter steigt und das Wasser wird kondensieren. Es sammelt sich also folglich wieder als Pfütze am Boden, wo die Umweltwärme es anschließend wieder verdampfen lässt. So kann es wieder vom Zeolith geschluckt werden und wird anschließend wieder ausgekocht. Es handelt sich also um einen Prozess, der nicht gleichmäßig durchläuft. Er gliedert sich vielmehr in unterschiedliche Phasen. Man nennt einen solchen Vorgang daher einen diskontinuierlichen Prozess.



Die hohe Effizienz des Prozesses einer Zeotherm-Anlage reduziert gleichzeitig den CO<sub>2</sub>-Ausstoß



## DICTIONARY

Sieden	=	to seethe, to boil
Kristall	=	crystal
Kältemaschine	=	chiller
Vakuum	=	vacuum

### WARUM SO KOMPLIZIERT?

Wenn ein solcher Aufwand getrieben werden soll, dann muss es sich auch lohnen. Denn wenn man also ohnehin eine Gasflamme benötigt, um Temperaturen zu erreichen, die das Wasser aus dem Zeolith entfernen, dann könnte man doch gleich und ausschließlich mit der Flamme heizen. So könnte man meinen, vergisst dabei aber die Verdampfungswärme, die zwischenzeitlich der Umgebung entzogen wird. Diese Energie kann natürlich auch dem Heizsystem zur Verfügung gestellt werden. Der Verdampfungs- und Kondensationsprozess läuft dabei ohne einen leistungshungrigen Verdichter ab, wie bei den sonst üblichen Wärmepumpen. Kleine, schwächliche Umwälzpumpen reichen aus, um diesen Prozess in Gang zu bringen. Einmal, um die Wärmeenergie der Solaranlage zur Verdampfung des Wassers einzuspeisen. Andererseits ist eine zusätzliche Pumpe notwendig, um die Zeolithe mittels des Kesselwassers zu trocknen. Und nur, wenn die eingespielte Energiemenge höher ist als der Energieaufwand, bleibt also netto etwas über und man kann diesen Gewinn einfahren. Schaut man sich diesen Prozess zu Ende an, werden Gesamtnutzungsgrade von um die 118 % bezogen auf den oberen Heizwert erreicht. Ein modernes Gas-Brennwertgerät bringt es auf 98 %.

#### 1. Phase: Adsorption

Wärme aus den Solarkollektoren wird hinzugefügt und das Wasser verdampft. Dank des Vakuums genügt dafür eine Kollektortemperatur von 3 °C. Der Dampf strömt nach oben und wird vom Zeolith aufgenommen (adsorbiert). Die dabei frei werdende erhebliche Adsorptionswärme wird direkt zum Heizen genutzt.

Bild: Vaillant

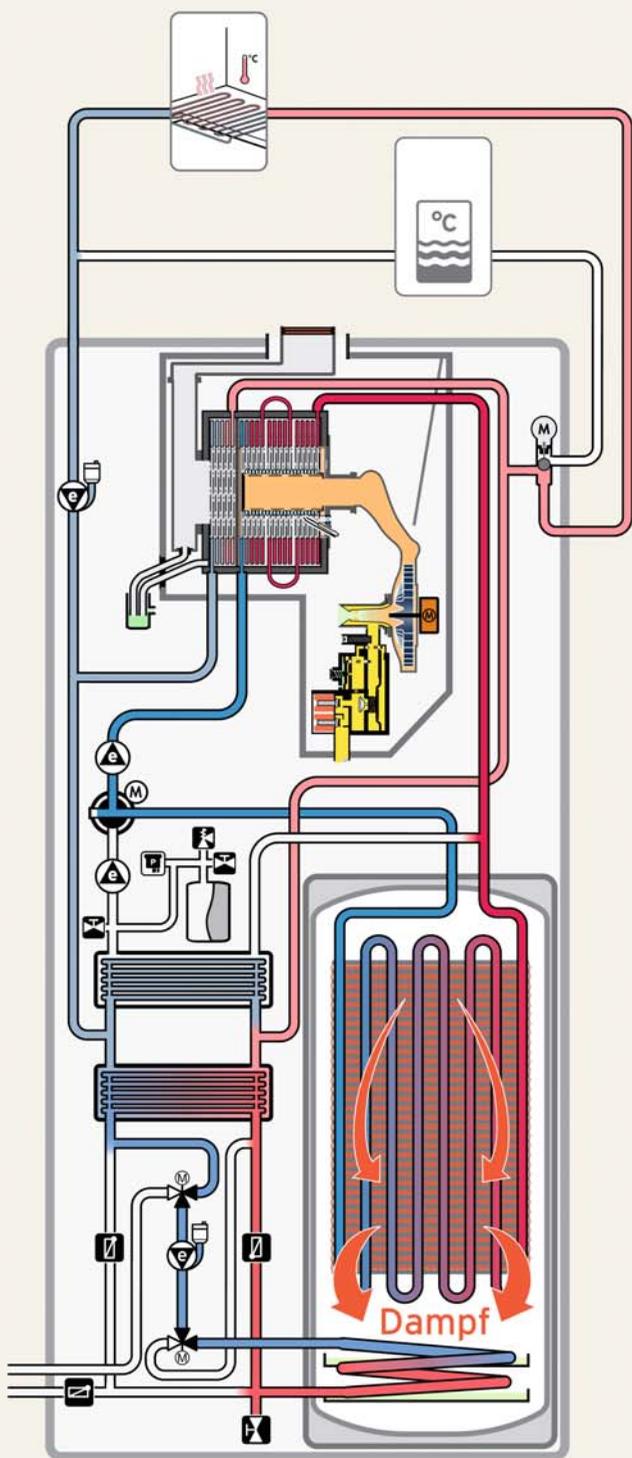


Bild: Vaillant

## AUSSICHTEN UND VARIANTEN

Das Zusammenspiel der Zeolith und Wasser erlaubt es bereits jetzt zu vertretbaren Preisen eine Zeolith-Gas-Wärmepumpe am Markt zu etablieren. Die Geräte funktionieren zuverlässig und die sich ständig wiederholenden Prozesse der Adsorption und Desorption kommen ohne aufwendige Wartungen aus. Es ist übrigens auch möglich und umsetzbar, dass das verdampfende Wasser dieses Prozesses natürlich auch Kühlenergie zur Verfügung stellen kann. Und um das Wasser anschließend wiederum aus dem Zeolith auszutreiben, würde gegebenenfalls geballte Sonnenenergie infrage kommen. Ein gekühlter Palast, mitten in der Wüste, ist also machbar, nur mit ein paar Pümpchen und ohne klotzige und energiehungrige Kompressoren. Spinnen Sie doch mal diesen Prozess weiter und entwerfen Sie eine Kühlanlage für Dubais First-Class-Hotels auf der Grundlage einer Adsorptions-Kälteanlage. ■

### 2. Phase: Desorption

Der Zeolith wird durch den Gasbrenner erwärmt, das soeben eingelagerte Wasser verdampft, wird freigesetzt (es desorbiert) und strömt in den unteren Teil des Moduls. Dort kondensiert der Dampf und setzt Kondensationswärme frei, die direkt in die Heizung geführt wird. Wenn der Zeolith getrocknet ist, ist diese Phase beendet. Der Gasbrenner wird ausgeschaltet und das Modul kühlt sich ab. Anschließend beginnt der Prozess von vorn.