Energie
Nationale Forschungsprogramme 70 und 71

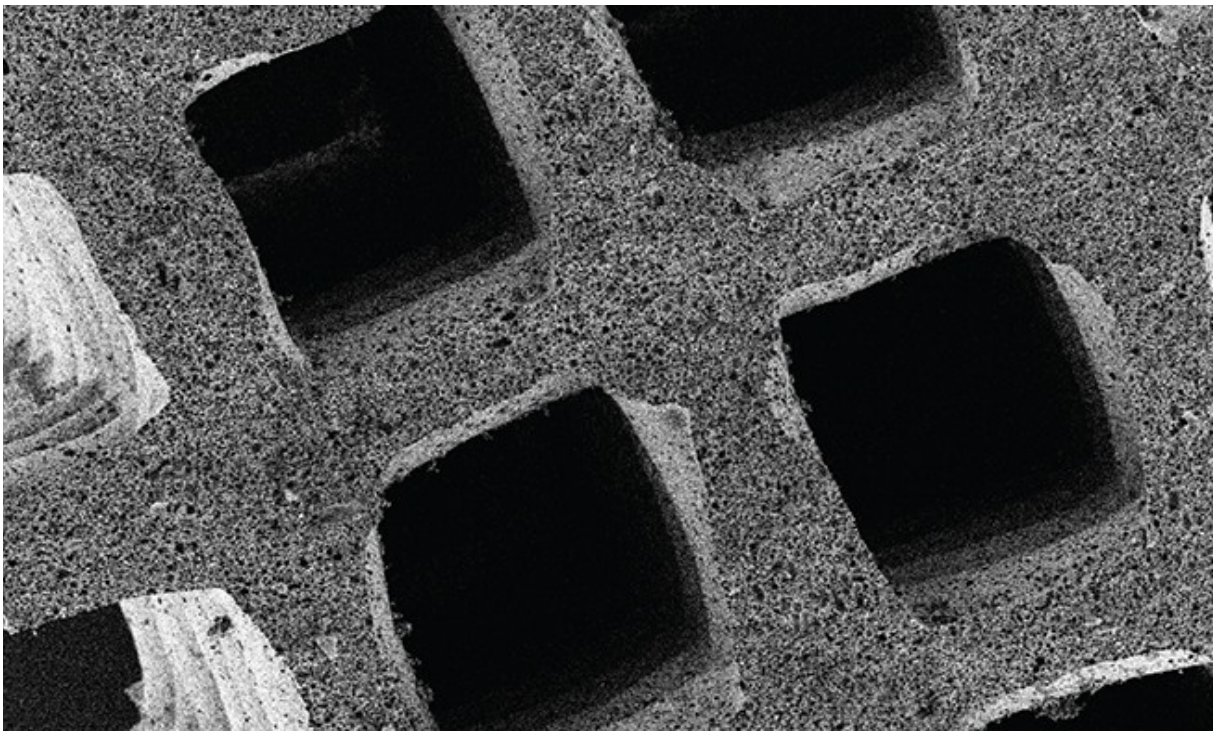
Projekt

Materialien für Adsorptionswärmetauscher

Aus dem 3-D-Drucker: Effizientere Materialien für Adsorptionswärmepumpen

Aus dem 3-D-Drucker: Effizientere Materialien für Adsorptionswärmepumpen

In Zukunft könnte Abwärme mit sogenannten Adsorptionswärmepumpen viel konsequenter genutzt werden als bisher. Nun haben Forschende der ETH Zürich, der Empa und von IBM Research durch ein 3-D-Druckverfahren neue Materialstrukturen entwickelt, um das Kernmaterial solcher Anlagen wesentlich effizienter einzusetzen.



Unter dem Elektronenmikroskop wird die Feinstruktur des Sorptionsmaterials sichtbar, das mittels 3-D-Druck hergestellt wurde: Die unterschiedlich grossen Poren machen das Material deutlich effizienter. *Quelle:* ETH Zürich/Carla Minas

Auf einen Blick

- Bisher waren Adsorptionswärmepumpen noch ineffizient und teuer. Darum haben Forschende der ETH Zürich, der Empa und von IBM Research eine neue Art entwickelt, das Sorptionsmaterial – der Kern solcher Anlagen – intelligenter zu strukturieren und es dadurch leistungsfähiger zu machen.
- Unter anderem nutzen die Forschenden einen eigens entwickelten Versuchsaufbau und ein 3-D-Druckverfahren. Denn im 3D-Druck lassen sich gezielt Mikrostrukturen in das Sorptionsmaterial bringen, die beeinflussen, wie leistungsfähig dieses ist.
- Auf diese Weise kreierte das Forscherteam eine Struktur, welche die Leistungsfähigkeit des Sorptionsmaterials um das Dreifache steigert.

Wärme zu produzieren benötigt viel Energie: In der Schweiz verwenden wir die Hälfte des gesamten Energieverbrauchs, um unsere Wohnungen und Büros zu heizen, unser Dusch- und Abwaschwasser zu erwärmen und um industrielle Prozesse anzutreiben. Die Energie dafür stammt noch immer hauptsächlich aus fossilen Quellen wie Erdöl und Erdgas. Betrachtet man nur den Stromverbrauch, gehen davon 40 Prozent ins Heizen von Räumen oder Materialien. Dies wird sich in Zukunft ändern müssen, denn die Energiestrategie 2050 verlangt, dass der CO_2-Ausstoss deutlich sinkt und dass die Kernenergie als Stromquelle verschwindet.

Gefragt sind darum Wege, die Ressource Wärme effizienter zu nutzen. Beispielsweise, indem Abwärme konsequenter aufgefangen und wiederverwendet wird als bisher. Hier können sogenannte Adsorptionswärmepumpen helfen. Ähnlich wie die heute üblichen Kompressionswärmepumpen können sie Wärme aus der Umgebung ziehen und diese aufwerten. Dazu benötigen Adsorptionswärmepumpen zwar Antriebswärme bei Temperaturen von mindestens 35 bis 60 Grad Celsius, dafür verbrauchen sie im Gegensatz zu konventionellen Wärmepumpen fast keinen Strom. Mit solchen Anlagen liesse sich beispielsweise die Abwärme von Fabriken, Rechenzentren oder Wärmeenergie aus erneuerbaren Quellen wie thermischen Solaranlagen nutzen.

Allerdings waren die Anlagen bisher vergleichsweise ineffizient und darum teuer. Vor allem das verwendete Sorptionsmaterial – der Kern einer Adsorptionswärmepumpe – bestimmt, wie effizient die Anlagen sind. Darum hat nun ein Forscherteam um André R. Studart, Professor am Departement für Materialforschung der ETH Zürich, eine neue Art entwickelt, solche Sorptionsmaterialien herzustellen – und zwar in einem 3-D-Druckverfahren. «Beim 3-D-Druck haben wir viel mehr Kontrolle über die Mikrostruktur des Materials als bei der konventionellen Synthese», erklärt Studart. Und genau diese Mikrostruktur beeinflusst, wie leistungsfähig das Sorptionsmaterial ist.

3-D-Druck verleiht Kontrolle

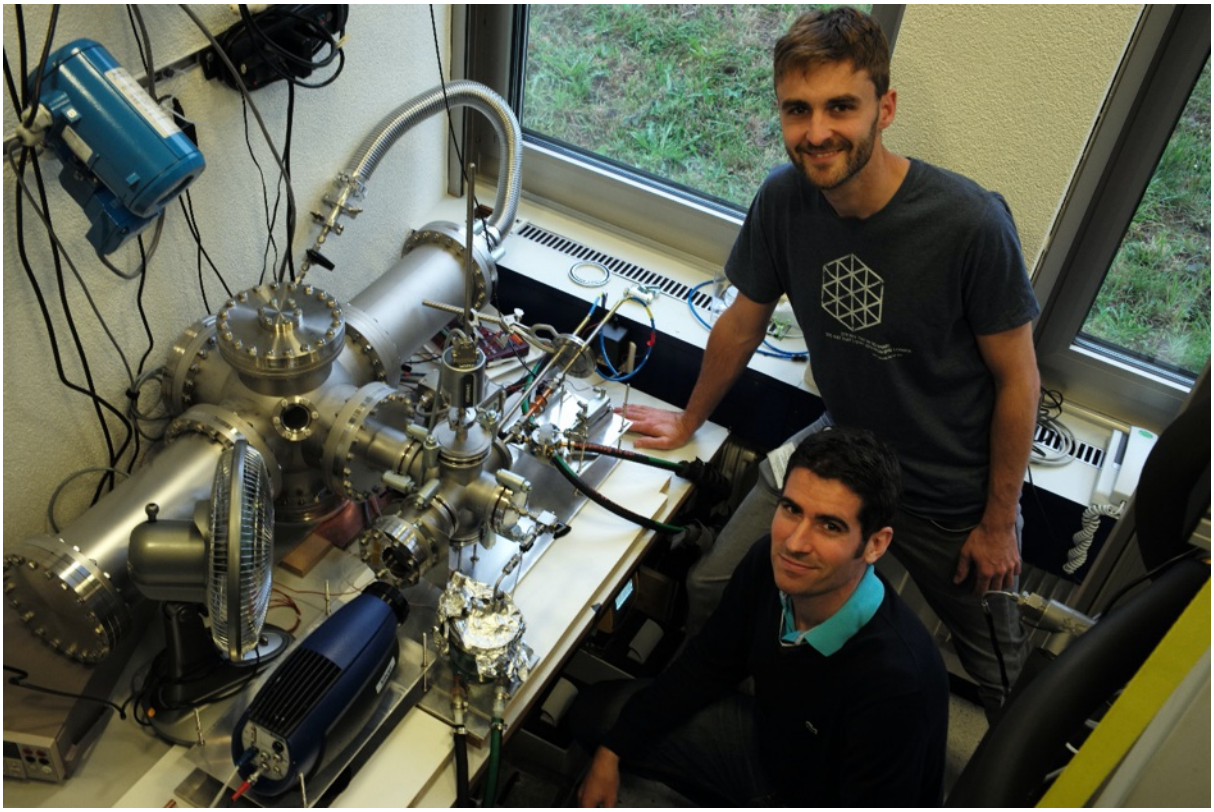
Das funktioniert im Inneren der Adsorptionswärmepumpe so: Zuerst wird die Eingangswärme benutzt, um Wasser zu verdampfen. Der Dampf wird danach in einen Adsorptionswärmetauscher geleitet und darin von dem Sorptionsmaterial adsorbiert und verdichtet. Dieser Vorgang erhitzt den Dampf weiter – die Temperatur wird höher. Jetzt benötigt die Anlage etwas Antriebswärme, um den nun heisseren Wasserdampf wieder freizugeben, in der Fachsprache heisst das desorbieren. Schliesslich wird der Dampf wieder zu Wasser kondensiert und die gewonnene Hitze aus den Adsorptions- und Kondensationsprozessen kann in einen Heizkreislauf geleitet werden.

Wie rasch dabei das Sorptionsmaterial arbeitet, hängt von der Struktur des Materials ab. Diese ist mit einer Vielzahl von Poren gespickt, die beeinflussen, wie rasch das Material wie viel Wasserdampf aufnehmen kann. Entscheidend sind die Anzahl, die Verteilung und die Grösse der Poren.

Der richtige Versuchsaufbau

Als Basis für ihre Arbeit wählten die ETH-Forschenden ein Sorptionsmaterial aus Silicium-Aluminiumphosphat namens SAPO-34. Dieses und weitere ähnliche Materialien auf Silicium-Basis sind kommerziell erhältlich und werden beispielsweise als Trocknungsmittel eingesetzt. Eine weit verbreitete Version davon sind etwa die Silikagel-Säckchen, die sich häufig in Verpackungen von elektronischen Geräten finden.

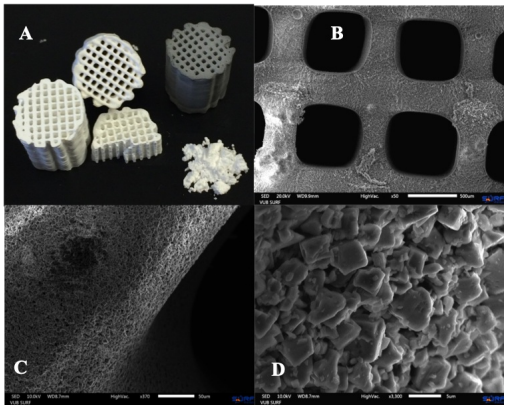
Um nun das Basismaterial SAPO-34 und später die weiterentwickelten Materialien zu untersuchen, entwarf das Forschungsteam zunächst einen neuen Versuchsaufbau. Ziel dabei war es, die Aufnahme und Abgabe des Wasserdampfs genau zu analysieren, um festzustellen, welche Faktoren im Material die Effizienz des Prozesses beeinflussen. Denn Adsorption und Desorption sind bestimmt durch zwei verschiedene physikalische Vorgänge: Einerseits durch den Massentransport, andererseits durch den Wärmetransport. Der Massentransport bezeichnet die Diffusion von Wassermolekülen ins Sorptionsmaterial. Dagegen beschreibt der Wärmetransport die thermische Leitfähigkeit, also wie rasch das Material die während der Sorptionsprozesse umgewandelte Wärme zu- und ableiten kann. Mit ihrem neuen Versuchsaufbau konnten die Forschenden nun erstmals zwischen Massentransport und Wärmetransport im Sorptionsmaterial unterscheiden und feststellen, welches der beiden Phänomene die Geschwindigkeit der Prozesse limitiert.



Die Forscher Jens Ammann und Patrick Ruch mit dem Versuchsaufbau, mit dem sie in den Sorptionswärmetauschern den Wärme- und den Massentransport charakterisiert haben. IBM Research - Zürich

Sie nutzen eine Infrarotkamera, um die Temperaturen im Sorptionsmaterial und auf der Oberfläche des Wärmetauschers zu messen. Gleichzeitig analysierten sie die Aufnahme und Abgabe des Wasserdampfs, indem sie die Druckänderung aufzeichneten. Auf diese Weise untersuchten die Forschenden zuerst das Basismaterial SAPO-34. Die Auswertung der Messresultate zeigte nun, dass in dem Material zwar der Wärmetransfer sehr effizient verläuft, jedoch nicht der Massentransfer: Dieser verlangsamt den gesamten Adsorptions-Desorptions-Prozess.

Die richtige Tinte für den Druck



Das 3-D-gedruckte Sorptionsmaterial: Im Elektronenmikroskop (Bilder B bis D) sieht man die unterschiedlichen Mikrostrukturen. Die grösseren Poren (B) haben einen Durchmesser von 650 Mikrometern, das sind etwa zwei Drittel von einem Millimeter. In der grössten Vergrösserung (D) werden die einzelnen Materialkristalle sichtbar. Couck et al. 2017

Darum konzentrierten sich die Forschenden darauf, den Massentransport zu verbessern. Dies, indem sie in das Material eine bestimmte Porenstruktur einarbeiteten. Mittels 3-D-Druck produzierten sie Modellstrukturen des Materials, um den Einfluss der Geometrie auf die Adsorptionsgeschwindigkeit zu untersuchen.

Das Team testete verschiedene Emulsionen, unter anderem mit Zusatz eines synthetischen Polymers und von Methylcellulose – einer chemischen Substanz, die auch als Tapetenkleister eingesetzt wird und die Emulsionen gelartig macht. 3-D-gedruckt ergaben die Emulsionen jeweils verschieden poröse Materialien, welche die Forschenden anschliessend experimentell untersuchten. Unterstützt durch Computersimulationen fanden die Forschenden auf diese Wiese schliesslich das optimale Ausgangsmaterial: Eine Art Schaumstruktur mit gerichteten Kanälen, welche den Wasserdampf rasch ins Material bringen sollten, so die Idee. Die Messresultate bestätigten dies: Im neuen Sorptionsmaterial sind sowohl der Massentransport wie auch der Wärmetransport deutlich verbessert.

Die praktische Anwendung

Daraufhin entwickelten die Forschenden einen Prozess, um diese gerichteten Kanalstrukturen in das Sorptionsmaterial einzuarbeiten, währendem es als Beschichtung auf einem Wärmetauscher aufgebracht wird. Das ist ein wichtiger Schritt, um das Material künftig in Adsorptionswärmepumpen einsetzen zu können. Ergebnis: Das so strukturierte Schichtmaterial zeigte im Vergleich mit der bisherigen unstrukturierten Variante eine dreifach höhere Leistungsdichte. Anders gesagt, man benötigt damit in einer Adsorptionswärmepumpe dreimal weniger Material und Wärmetauscherfläche für die gleiche Leistungsfähigkeit. Dadurch werden die Anlagen sowohl effizienter wie auch günstiger.

«Diese deutliche Verbesserung bei der Effizienz dürfte Adsorptionswärmepumpen künftig auch finanziell viel attraktiver machen», sagt Studart. Er hofft, dass sich die Anlagen rasch flächendeckend verbreiten. Denn das hätte einen grossen Einfluss auf den CO2-Ausstoss, wie eine Studie des Verbundprojekts zeigte: Bereits mit der Anwendung in vier bestimmten getesteten Szenarien liesse sich der Stromverbrauch um bis zu 9 Prozent und die CO2-Emissionen um bis zu 5 Prozent verringern.

Produkte aus diesem Projekt

- 3D Printing of Emulsions and Foams into Hierarchical Porous Ceramics
  Publikationsdatum: 16.09.16
- Quantification of heat and mass transport limitations in adsorption heat exchangers: Application to the silica gel/water working pair
  Publikationsdatum: 20.12.19
- 3D-printed SAPO-34 monoliths for gas separation
  Publikationsdatum: 01.01.18
- Insights from modeling dynamics of water sorption in spherical particles for adsorption heat pumps
  Publikationsdatum: 20.12.19
- Characterization of transport limitations in SAPO-34 adsorbent coatings for adsorption heat pumps
  Publikationsdatum: 20.12.19
- High-Power Adsorption Heat Pumps Using Magnetically Aligned Zeolite Structures
  Publikationsdatum: 18.06.19
- Sorption rate enhancement in SAPO-34 zeolite by directed mass transfer channels
  Publikationsdatum: 20.12.19

Team & Kontakt

Prof. André R. Studart
ETH Zürich
Vladimir-Prelog-Weg 1-5/10
8093 Zürich

+41 (0)44 633 70 50
andre.studart@mat.ethz.ch

André R. Studart

Jens Ammann

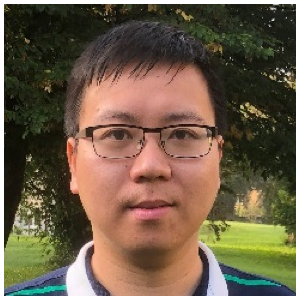
Adrianna Chitez

Dominique Derome

Clara Minas

Andrea Radu

Patrick Ruch



Xiaohai Zhou

Alle Aussagen diesen Seiten bilden den Stand des Wissens per 17.12.2018 ab.