

Wissenschaft

Wasser aus Wüstenluft

Der Berliner Forscher Joachim Sauer hat Materialien mitentwickelt, mit denen man Feuchtigkeit aus trockener Luft gewinnen kann

TORSTEN HARMSSEN

Trinkwasser wird in vielen Regionen der Welt immer knapper. Deshalb arbeiten Forscher und Ingenieure seit Jahren an Methoden, Wasser aus Wüstenluft zu ernten, wie die Humboldt-Universität (HU) zu Berlin mitteilt. Dabei spielen poröse metallorganische Materialien eine wichtige Rolle. „In ihren Hohlräumen verfangen sich Wassermoleküle aus der Luft besonders gut“, so die HU. Ein deutsch-amerikanisches Forscherteam habe nun die molekularchemischen Vorgänge der Wasserernte analysiert und die Materialien optimiert. Die Ergebnisse ihrer Studie seien im Fachjournal Science erschienen.

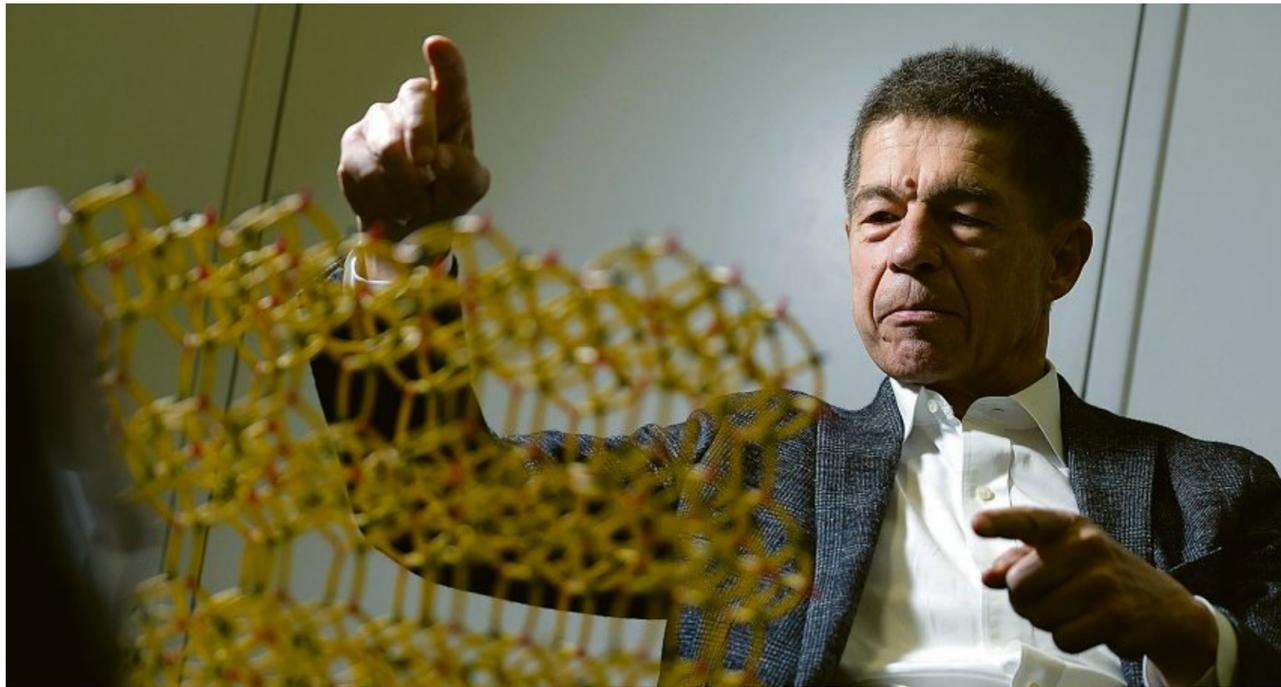
Co-Autoren der Studie sind unter anderem der Physikochemiker Joachim Sauer, Professor an der HU, und Laura Gagliardi, Professorin an der University of Chicago, die 2018 mit dem deutschen Humboldt-Forschungspreis ausgezeichnet wurde. Die Forschenden nutzen Methoden der Röntgenkristallographie, der Quantenchemie und der Computersimulation, um zur Entwicklung neuester Materialien beizutragen.

Geräte zum Ernten entwickelt

Bei einem Besuch der Berliner Zeitung in seinem Büro in Adlershof hatte Joachim Sauer – der Öffentlichkeit auch als Ehemann von Angela Merkel bekannt – Ende 2017 einmal erklärt, wie die Forscher vorgehen. Damals anhand von Zeolithen. Dies sind Silikate, in denen sich Hohlräume befinden. „Sie besitzen Poren, und zwar in der Größenordnung von Millionstel Millimetern. Diese Porenstruktur kommt in sehr vielen verschiedenen Varianten vor“, sagte Sauer. Anhand eines Gittermodells zeigte er, wie die Siliziumatome angeordnet sind, sodass Tetraeder entstehen, die miteinander verknüpft sind. Diese Verknüpfungen seien sehr verschieden. So könnten ganz unterschiedliche Hohlraumstrukturen entstehen, sagte er. Erforscht werde nun, welche Moleküle hineinpassen und welche nicht. Dies könne man unter anderem für die Entwicklung besserer Katalysatoren nutzen.

In der aktuellen Studie geht es auch um Hohlraumstrukturen, und zwar bei sogenannten metallorganischen Materialien, abgekürzt MOF. In ihnen bilden Metalle und organische Stoffe eine poröse Gerüststruktur mit besonders vielen winzigen Hohlräumen und einer großen inneren Oberfläche, wie die HU mitteilt.

Bestimmte, auf Aluminium basierende MOFs wurden so konstruiert, dass sich Wassermoleküle be-



Joachim Sauer erklärte der Berliner Zeitung 2017 seine Forschung anhand eines Modells.

BERLINER ZEITUNG/PAULUS PONIZAK

sonders gut in ihren Hohlräumen verfangen – sogar bei einer sehr geringen Luftfeuchtigkeit von 15 bis 20 Prozent, wie sie in Wüsten üblich ist. Die Wärme der Sonne presst anschließend das „geerntete“ Wasser aus dem Material. Daher liege in den MOFs ein „großes Potential, um Menschen in trockenen Gebieten mit Wasser zu versorgen“, schreibt die HU.

Wie und warum die Wassermoleküle in den Poren hängenbleiben, habe man bisher allerdings nicht richtig verstanden, so die HU. Die Leistung des Teams, an dem Sauer beteiligt ist, bestand darin, dies herauszufinden und damit die Entwicklung effizienterer Materialien zu ermöglichen. Mithilfe von Röntgenkristallographie und quantenchemischen Berechnungen blickten sie in die Hohlräume der MOFs und analysierten auf atomarer Ebene, wie sich die Wassermoleküle aus der Luft in dem metallorganischen Gerüst verfangen und sammeln.

„Dabei stellte das Team fest, dass während sich die ersten Wassermoleküle mit den organischen Stoffen des MOF verbinden, die weiteren Wassermoleküle viel besser mit den bereits vorhandenen Wassermolekülen interagieren“, heißt es in der HU-Erklärung. „Sie bilden innerhalb der Hohlräume zunächst Ketten, dann Cluster und schließlich ein Netzwerk an Clustern.“ Wichtig sei dabei auch, dass die ersten Wassermoleküle nicht zu fest mit den MOFs verbunden sind, da sonst das Wasser nicht richtig aus dem Mate-



Ein „Wasser-Erntegerät“ der Start-up-Firma Water Harvesting

UC BERKELY/MATTHIEU PRÉVOT

rial herausgepresst werden könne. Aus ihren Erkenntnissen entwickelte das deutsch-amerikanische Forscherteam mithilfe von Computern und Experimenten Gerüstverbindungen, die den Wassermolekülen die Möglichkeit geben, Cluster zu bilden, ohne zu fest an den organischen Stoffen zu „kleben“. „Die Entwicklung von wasser-aufnehmenden Materialien basierte bisher auf dem Prinzip Versuch und Irrtum“, erklärt Joachim Sauer. „Da wir jetzt verstehen, wie die molekulare Evolution von Wasserstrukturen in metallorganischen Materialien funktioniert, können wir diese auf atomarer Ebene gezielt optimieren.“

Weil Wassermoleküle sich je nach Außentemperatur und Luftfeuchtigkeit anders verhielten,

könnten mithilfe der Studienerkenntnisse auch Materialien geschaffen werden, „die für bestimmte Umweltbedingungen optimiert sind und sogar in kühleren Gegenden funktionieren“, so die HU.

Doch wie effizient sind diese Materialien nun? Könnten sie in Zukunft wirklich in größerem Maß zur Wasserversorgung in trockenen Regionen beitragen? „Zur Zeit wird an mobilen Geräten gearbeitet, die geringe Mengen Wasser liefern“, sagt Joachim Sauer der Berliner Zeitung. Und er verweist dazu auf Forschungen, die in den USA stattfinden.

Geräte zum „Wasser-Ernten“ entwickelt unter anderem das Start-up-Unternehmen Water Harvesting, gegründet vom Chemiker Omar Yaghi, Professor an der University of Cali-

fornia, Berkeley, der auch zu den Autoren der neuen Studie gehört. Das Unternehmen entstand 2018, um auf kommerziellen Wege die globale Herausforderung der Wasserknappheit anzugehen, wie es in der Selbstdarstellung heißt. „Fast ein Drittel der Welt leidet unter Wassermangel“, sagt Omar Yaghi. Und die Atmosphäre enthalte fast so viel Wasser wie alle Flüsse und Seen. Die Gewinnung dieses Wassers könnte dazu beitragen, Wüsten in Oasen zu verwandeln.

Die Firma entwickelte ein Gerät, das auf eine relative Luftfeuchtigkeit von nur 15 Prozent ausgerichtet ist. In dem etwa kistengroßen Gerät sammelt sich über Nacht Wasser, das sich dann am Tage – wenn die Sonne das Gerät erwärmt – an Plexiglaswänden niederschlägt. In einem Video sieht man, wie die Wassertropfen langsam eine Flasche füllen – „sauberes, trinkbares Wasser“, wie die Forscher sagen.

Das Gerät arbeitet mit dem auf Aluminium basierenden Material MOF-303, das in Pulverform auf einer Fläche im Gerät verteilt wird. Es ist eines der von Joachim Sauer und Kollegen gezielt optimierten metallorganischen Materialien – wesentlich effizienter und preiswerter als seine Vorgänger. Ein einzelnes Gramm des metallorganischen Materials könne aufgrund seiner porösen Struktur eine gesamte innere Oberfläche von der Größe eines Fußballfeldes haben, heißt es in einem Video zu dem Thema. Ein Kilogramm des Materials ergäbe

eine „Ernte“ von 0,2 Litern Wasser pro Tag-und-Nacht-Zyklus, so der Sprecher des Videos. Was nach sehr wenig klinge. Doch die gute Nachricht sei: Wissenschaftler hätten ihr Geräte-Design verändert, um damit eine höhere Wasserausbeute zu erreichen, und zwar von 1,3 Litern Wasser pro Tag. Die neuere Version des Water Harvesters („Wasser-Erntegerät“) sieht fast wie eine Klimaanlage aus. Hier wird Umgebungsluft über eine mit Material gefüllte Kartusche in einer Plexiglasbox geleitet. Das metallorganische Material entzieht der trockenen Luft Wasser, das dann durch mildes Erhitzen aus dem Material entfernt wird. Der konzentrierte Wasserdampf wird durch ein Rohr zu einem Kondensator geblasen. Hier entsteht Trinkwasser. Für den ganzen Prozess braucht man den Forschern zufolge zusätzlich nur Sonnenkollektoren und eine Batterie – selbst in so trockenen Gebieten wie der kalifornischen Mojave-Wüste, wo Feldtests mit dem neuen Gerät stattfanden. Man könne „Wasser über viele Zyklen pro Tag ernten“, sagte Omar Yaghi.

Zehn Liter Wasser pro Tag

Das Start-up Water Harvester kündigte vor einiger Zeit an, ein Gerät in der Größe eines Mikrowellengeräts auf den Markt bringen zu wollen, das sieben bis zehn Liter Wasser pro Tag liefern könne: genug Trink- und Kochwasser für zwei bis drei Erwachsene pro Tag, wie das Magazin Lab Manager berichtete. Eine noch größere Version in der Größe eines kleinen Kühlschranks soll 200 bis 250 Liter Wasser pro Tag ergeben, genug für einen Haushalt zum Trinken, Kochen und Duschen. Und in ein paar Jahren hofft das Unternehmen, eine „Wasser-Erntemaschine“ im Dorfmaßstab zu haben, die 20.000 Liter pro Tag produziert.

Das Magazin Lab Manager schrieb schon 2019, dass es weltweit großes Interesse an der Technologie gebe und Anfragen aus trockenen Regionen des Nahen Ostens, Afrikas, Südamerikas, Mexikos, Australiens und rund um das Mittelmeer. Ein Großteil der Mittel für die Forschung käme aus Saudi-Arabien im Rahmen einer wissenschaftlichen Partnerschaft. Wüstenkönigreiche mit chronischem Wassermangel schätzten das Potenzial der „Wasser-Erntemaschinen“, sagte Yaghi, der selbst aus einem trockenen Land, Jordanien, stamme. Doch die Fragen sind am Ende: Werden solche Geräte günstig, sicher und zuverlässig sein, wenn es sie tatsächlich in größerer Zahl geben sollte? Wer wird sie sich leisten können, und wer wird Zugang zu ihnen haben, wenn das Wasser weltweit immer knapper wird?

Zwei Grad wärmer

Die Temperatur im Nordpolarmeer steigt bereits seit dem Jahr 1900. Forscher halten das für das fehlende Puzzlestück bei Klimaprognosen

STEFAN PARSCH

Die Erwärmung des Arktischen Ozeans hat nach Forscherangaben früher begonnen, als bisher angenommen. Mittels Bohrkernanalysen rekonstruierte ein internationales Team die Meerestemperatur an der Westküste der Inselgruppe Spitzbergen in den vergangenen 800 Jahren. Die Wissenschaftler fanden heraus, dass seit Beginn des 20. Jahrhunderts mehr warmes und salzigeres Wasser aus dem Atlantik ins Nordpolarmeer floss.

Die Studie des Teams um Tommaso Tesi vom Istituto di Scienze Polari in Bologna und Francesco Muschitiello von der University of Cambridge ist im Fachmagazin Science Advances erschienen. Ihre Veröffentlichung sehen die For-

schers als Vorschlag zur Verbesserung von Klimaprognosen an. „Die Erwärmungsrate in der Arktis ist aufgrund von Rückkopplungsmechanismen mehr als doppelt so hoch wie im globalen Durchschnitt“, so Muschitiello in einer Mitteilung. Eine dieser Rückkopplungen ist der Unterschied zwischen Eis und offenem Wasser: Je stärker das Eis schmilzt, desto mehr dunkle Meeresfläche wird frei – das Wasser erwärmt sich schneller. Seit 1900 ist der Arktische Ozean etwa zwei Grad Celsius wärmer geworden.

Seit etwa 40 Jahren registrieren moderne Messinstrumente bis hin zu Satellitenmessungen ein Ansteigen der Temperatur im Nordpolarmeer. Doch Tesi, Muschitiello und Kollegen wollten wissen, wann diese Entwicklung begonnen hat. Sie konzentrierten sich dabei auf



Je stärker das Eis schmilzt, desto mehr dunkle Meeresfläche wird frei – das Wasser erwärmt sich schneller.

IMAGO

den östlichen Teil der Framstraße, das Meeresgebiet zwischen Spitzbergen und Grönland. Dort führt einer der nördlichsten Ausläufer des Golfstroms entlang, der Westspitzbergenstrom. Er gilt als die

Hauptquelle für Salz und Wärme im Arktischen Ozean.

Die Wissenschaftler nutzten einen Bohrkern aus dem Kongsfjord auf Spitzbergen, den sie auf verschiedene chemisch-physikalische

Marker hin untersuchten, und analysierten die Menge an mikroskopisch kleinen Lebewesen, hauptsächlich Foraminiferen. Diese Einzeller zeigen an, wie warm, salzhaltig und nährstoffreich das Wasser war, in dem sie lebten. Auf diese Weise haben die Forscher, die Entwicklung dieser Wassereigenschaften rekonstruiert.

Über die meiste Zeit der 800 Jahre waren die Werte konstant. „Aber zu Beginn des 20. Jahrhunderts bekommt man plötzlich diese Veränderung von Temperatur und Salzgehalt – das sticht wirklich heraus“, sagt Tesi. Er und seine Kollegen sehen eine Verbindung zum Ende der „Kleinen Eiszeit“ am Ende des 19. Jahrhunderts. Die um die Wende zum 20. Jahrhundert ansteigenden Temperaturen hätten auch Auswirkungen auf die Meeresströmungen

gehabt. So sei der subpolare Wirbel südlich von Grönland schwächer geworden, so dass wärmeres und salzigeres Atlantikwasser bis in den Arktischen Ozean gelangte. Als Wendepunkt ergibt sich aus den verschiedenen Messreihen das Jahr 1907.

Diesen Wendepunkt versuchten die Forscher, auch durch Simulationen in den neuesten Klimamodellen zu finden, doch es gelang ihnen nicht. Dies bedeute, dass das Verständnis der Mechanismen, die die Erwärmung des Arktischen Ozeans durch Atlantikwasser antreiben, in der Klimamodellierung unvollständig sei, so Tommaso. „Wir verlassen uns auf diese Simulationen, um den zukünftigen Klimawandel zu prognostizieren, aber das Fehlen jeglicher Anzeichen einer frühen Erwärmung im Arktischen Ozean ist ein fehlendes Puzzlestück.“