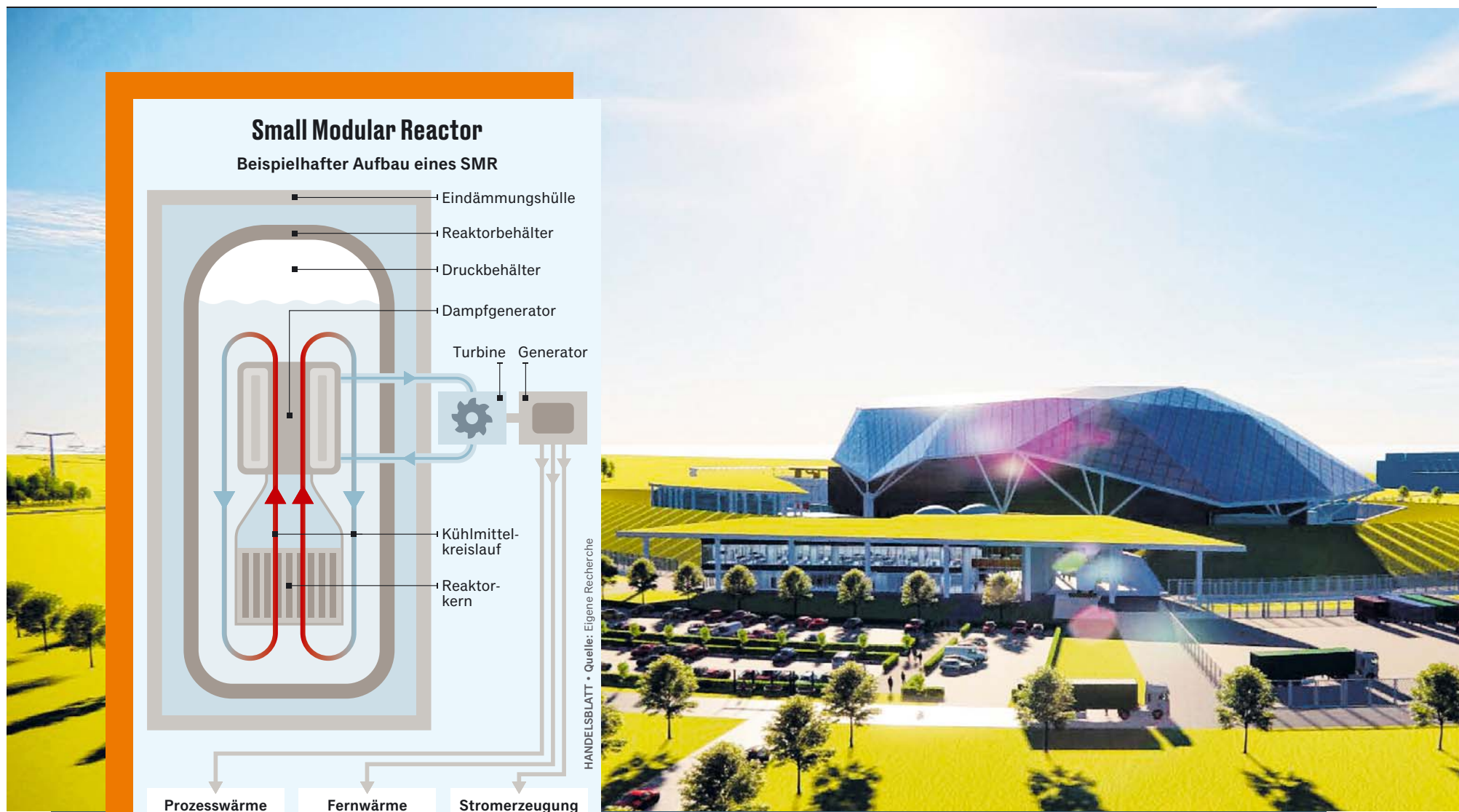




Kernenergie

Mini-Atommeiler – neue Chance für die Industrie?

Modulare Reaktoren können Prozesswärme für Chemie- und Stahlwerke ohne Emissionen bereitstellen. Die USA und Großbritannien preschen vor, in Deutschland gibt es Bedenken.

Axel Höpner München

Firmeneigene Atomkraftwerke für den Betrieb von Chemieanlagen? In den USA soll das bald Realität sein. Der US-Chemiekonzern Dow hat den Bau einer neuartigen Nuklearanlage für sein großes Werk in Seadrift im Süden der USA beantragt. Gemeinsam mit dem Start-up X-Energy wollen die Amerikaner dort die Energieversorgung revolutionieren.

Die in der Chemie benötigten großen Wärmemengen sollen in dem Werk künftig auch aus Mini-Atomkraftwerken kommen. „Wir erweitern den Zugang zu sicherer, sauberer, zuverlässiger und wettbewerbsfähiger Kernenergie in den USA“, sagte Dow-Manager Edward Stones. In Deutschland wäre ein solches Projekt aktuell unvorstellbar. Die Atomkraft wird gerade abgeschafft.

Doch Dow Chemical steht für einen weltweiten Trend; ähnliche Projekte laufen in Europa und Asien. Die neuen kleinen, modularen Reaktoren (Small Modular Reactors/SMR) sollen klimaschonend Prozesswärme für die Industrie produzieren. Dow Che-



Greentech

Serie „Diese grünen Ideen könnten die Welt verändern“:

Von Wellenkraftwerken, CO₂-freiem Zement und Solaranlagen im Weltraum bis zu energiespendenden Algenarten. Wir stellen einige der interessantesten Innovationen vor. Wissenschaftlich begleitet wird die Serie von dem unabhängigen Thinktank Future Cleantech Architects.

mical plant den Einsatz von vier gasgekühlten Hochtemperaturreaktoren der vierten Generation, um eine halbe Million Tonnen CO₂-Emissionen zu vermeiden, so das Versprechen der Initiatoren. Der Bau soll bis Ende dieses Jahrzehnts abgeschlossen sein.

Antonio Hurtado, Professor für Wasserstoff- und Kernenergietechnik an der TU Dresden, gibt sich überzeugt: „Kernenergie wird eine große Rolle bei der Dekarbonisierung der Wärmeproduktion spielen.“ Auch die Europäische Kommission treibt die Entwicklung mit einer Reihe von Initiativen voran. Doch es gibt viele offene Fragen und Risiken.

In der EU entfallen 46 Prozent des Energieverbrauchs auf Wärme. In Deutschland sind es laut Umweltbundesamt sogar mehr als 50 Prozent. Ein großer Anteil davon stammt aus der Industrie. Prozesswärme wird in wichtigen Verfahren benötigt, zum Beispiel in der Chemie-, der Zement- und der Stahlindustrie. Bislang werden dafür meist fossile Energieträger eingesetzt. So gewinnt BASF in mehreren eigenen Gaskraftwerken die benötigten Mengen Strom und Dampf.

Das zeigt, wie groß der Hebel für die CO₂-Reduzierung sein kann, wenn andere effiziente Verfahren gefunden werden. Peter Ruschhaupt, Cleantech-Analyst von FCA Future Cleantech Architects, formuliert die Herausforderung als Frage: „Wie können wir industrielle Prozesse so gestalten, dass sie keine Treibhausgasemissionen verursachen, aber nicht teurer werden?“

Diese Kernfrage auf dem Weg zu Netto-Null-Emissionen bis 2050 sei besonders schwer zu beantworten für Prozesse, die hohe Temperaturen von 200 Grad Celsius und mehr benötigen. Lange ruhten die Hoffnungen insbesondere beim Stahl auf Wasserstoff. Hersteller wie Thyssen-Krupp Steel und Salzgitter verfolgen Pläne für die Herstellung von grünem Stahl mit Wasserstoff. Allerdings ist in der Branche Ernüchterung eingetreten.

Es ist bislang nicht absehbar, wann bezahlbarer Wasserstoff in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Arcelor-Mittal hat daher das Projekt einer klimaneutralen Stahlproduktion auf der Basis von Wasserstoff an den Standorten Bremen und Eisenhüttenstadt kürzlich aufgegeben. Doch was

ist die Alternative? Wenn Deutschland seine energieintensiven Branchen retten wolle, müsse es technologieoffen sein, rät TU-Professor Hurtado. „Wir brauchen einen intelligenten Energiemix.“

Hier kommt die Atomkraft ins Spiel, die laut Hurtado in vielen europäischen Ländern weiterentwickelt wird. Auch wenn Kernkraftwerke heute primär zur Stromerzeugung dienen, produzieren sie zunächst immer Wärme. Diese mithilfe von Turbinen in Strom umzuwandeln, ist ineffizienter, als die Wärme direkt zu nutzen.

Klassische Reaktoren waren bislang groß und teuer, der Bau der wenigen neuen Großreaktoren dauerte vielerorts länger als geplant. Neue Perspektiven sollen die kleinen modularen SMRs (Small Modular Reactors) eröffnen. Durch Standardisierung sollen Genehmigungsverfahren schneller laufen und die Kosten sinken.

Bislang haben sich die Hoffnungen nicht überall erfüllt. So wird der im US-Bundesstaat Idaho geplante SMR der Firma Nuscale aufgrund zu stark gestiegener Kosten nicht gebaut. Doch werden vielerorts neue, kleine und

Entwurf eines SMR-Kraftwerks von Rolls-Royce: Erste Mini-Atommeiler des britischen Konzerns sollen in fünf Jahren in Betrieb gehen.



picture alliance/Cover Images

modulare Reaktortypen entwickelt. „Es ist von einer SMR-Revolution auszugehen“, erwartet Hurtado.

Die meisten aktuellen Mini-Reaktoren funktionieren nach demselben Prinzip wie die üblichen Leichtwasserreaktoren. Entsprechende Konzepte entwickeln zum Beispiel Rolls-Royce sowie Nuscale und GE Hitachi. Dabei führt der Name ein wenig in die Irre. „Wirklich klein sind die Reaktoren nicht“, sagt Thomas Thiemann von Siemens Energy. „So einen SMR kann man sich nicht in den Hof stellen.“

Auf ein größeres Industriegelände aber schon. Daher können SMRs theoretisch nicht nur Strom liefern, sondern auch Wärme bereitstellen. Sie könnten etwa die Fernwärmeversorgung von Wohngebieten übernehmen und die Versorgung der Industrie mit Prozesswärme gewährleisten. Entsprechende Projekte gibt es bereits unter anderem in den USA, Finnland und in China.

„Ab 2035 werden wir weltweit in einigen Regionen der Welt die ersten SMRs sehen, die Prozesswärme für die Industrie bereitstellen“, sagt Kernenergie-Experte Hurtado. Ob sich die Technologie dann als Standard durchsetze, werde der Wettbewerb mit anderen Verfahren entscheiden. „Doch es ist sicher ein kostengünstiger, zuverlässiger Weg.“

Technologische Hürden: Auf die Temperatur kommt es an

Die SMRs der aktuellen Generation 3 sind klassische Druck-/Siedewasserreaktoren, die Wasser als Kühlmittel nutzen. Sie können in der Regel Prozesswärme mit Temperaturen bis zu 300 Grad Celsius liefern. „Das ist eine Einschränkung“, sagt Siemens-Energy-Experte Thiemann. Chemikersteller bräuchten – je nach Prozess – oft Dampf mit einer Temperatur von mehr als 500 Grad. Erdgas und Wasserstoff können diesen liefern.

Ein Teil der industriellen Prozesse könne auch mit niedrigeren Temperaturen abgedeckt werden. Für die übrigen Anwendungen müsste der Dampf

beispielsweise durch Kessel oder durch Dampfkompressoren weiter erhitzt werden – was die Kosten erhöht.

Hurtado sieht die Technik aber grundsätzlich einsatzbereit. „Schon heute sind Hochtemperaturreaktoren in modularer Bauweise verfügbar und im Betrieb.“ Deutschland habe die Hochtemperaturtechnologie lange selbst entwickelt, zum Beispiel im Forschungszentrum Jülich nahe Aachen. Bei gasgekühlten Kernreaktoren könnten schon heute Temperaturniveaus bis 700 Grad genutzt werden.

SMRs der vierten Generation, die andere Kühlmittel einsetzen, sind noch weitgehend in einem frühen Prototypenstatus. „Diese sind disruptiv anders“, sagt Siemens-Energy-Manager Thiemann. Sie arbeiteten beispielsweise mit Helium, Blei oder Wasserdampf. Natriumgekühlte Reaktoren erreichen Temperaturen bis etwa 550 Grad, heliumgekühlte bis zu 950 Grad.

Da gebe es aber noch viele Herausforderungen bis zur Serienreife, sagt Thiemann. Die technologisch anspruchsvollen Hochtemperaturreaktoren könnten also deutlich teurer werden als SMR der dritten Generation.

Pilotprojekte: China treibt Entwicklung voran

Nicht nur die USA bringen Pilotprojekte auf den Weg. In China hat der Bau eines modularen Druckwasserreaktors vom Typ ACP100 der dritten Generation bereits begonnen. Auch in Europa gibt es eine Reihe von Aktivitäten. So kündigte Großbritannien Investitionen in Höhe von 2,5 Milliarden Pfund (rund drei Mrd. Euro) an.

Mitte der 2030er-Jahre sollen erste Reaktoren der SMR-Bauart an das britische Energienetz angeschlossen werden. In Finnland planen unter anderem der Energieversorger Helen und das Start-up Steady Energy, das den Reaktor LDR-50 entwickelt, kleine Anlagen zur Wärmeherzeugung.

Die EU-Kommission will das Thema vorantreiben. Das Euratom-Forschungs- und Ausbildungsprogramm unterstützt eine Reihe von Projekten wie zum Beispiel Tandem und Gemini+ zur konzeptionellen Entwicklung von SMRs, auch zur Produktion von Prozesswärme und Wasserstoff.

Im vergangenen Jahr startete Brüssel zudem eine Europäische Industriallianz für SMRs. Dem Bündnis gehören inzwischen mehr als 300 Unternehmen und Organisationen an.

„Die Allianz zielt darauf ab, eine europäische Plattform zu schaffen“,

teilte die Kommission auf Anfrage mit. Es gelte, „die Zusammenarbeit zwischen allen Projektträgern, Finanzinstituten, Forschungs- und Ausbildungszentren, zivilgesellschaftlichen Organisationen und politischen Entscheidungsträgern zu ermöglichen“. Die Beschleunigung der SMR-Entwicklung in der EU erfordere eine robuste und effiziente nukleare Lieferkette.

Sicherheit und Kosten sind umstritten

Doch in Deutschland gibt es viele Bedenken. Bundesumweltminister Carsten Schneider (SPD) erteilte der Idee im Handelsblatt eine Abfuhr. Deutschland habe sich in einem langen Prozess entschieden, auf saubere und sichere Energie zu setzen, die keine strahlenden Abfälle hinterlasse. Es dauere immer länger, neue Reaktoren zu bauen, und die Kosten explodierten. „Es muss bezweifelt werden, dass viele kleine Reaktoren weniger Probleme verursachen als ein paar große.“

Auch Christoph Pistner, Bereichsleiter Nukleartechnik und Anlagensicherheit am Öko-Institut in Darmstadt, ist skeptisch. „Neue Atomkraftwerke waren immer extrem teuer, und die Planungs- und Bauzeiten sind extrem lang.“ Es gebe bislang wenig Belege dafür, dass sich dies mit den SMR ändern werde. „Um echte Skaleneffekte zu erzielen, müsste man mehrere Tausend vom selben Modell bauen.“ Das aber sei nicht absehbar. „Ob das Versprechen eingehalten werden kann, dass sie billiger werden, ist völlig offen.“

Die Hochtemperaturreaktor-Technologie habe sich bislang nicht durchgesetzt. „Es gibt bis heute keine Serienproduktion von kommerziell erfolgreichen Reaktoren“, sagt Pistner. Auch für die SMRs gebe es bislang noch keinen Anbieter mit einem kommerziell tragfähigen Konzept, das in den nächsten zehn Jahren gebaut werden könnte.

Im Übrigen gelte das Prinzip: Absolute Sicherheit gibt es nicht. Auch ein Hochtemperaturreaktor berge Sicherheitsrisiken, so könne es zum Beispiel zu Graphitbränden kommen. Da die SMRs kleiner seien, sei zwar auch die Menge an Radioaktivität kleiner, die freigesetzt werde. Dafür müssten aber viel mehr gebaut werden.

Kernenergie-Professor Hurtado teilt die Sicherheitsbedenken nicht. Hochtemperatur-Reaktoren seien in der Lage, sich zu stabilisieren, selbst wenn alle Kühlsysteme versagen. „Sie

sind daher inhärent sicher.“ Es gebe derzeit Überlegungen, „derartige Reaktoren bei geeigneter Leistungsgröße auch in der Peripherie von Großstädten aufzustellen“.

Ausblick: Andere Technologien könnten sich am Ende durchsetzen

Hurtado wirbt um Akzeptanz für die Technologie, auch bei den Unternehmen. „Die Industrie muss ihre künftige Bereitschaft bekunden, kerntechnische Systeme für den Strom- und Prozesswärmemarkt wettbewerbsorientiert zu nutzen.“

Kurz vor der Wende habe es Verhandlungen über einen Hochtemperaturreaktor für die ostdeutsche Chemieregion Leuna gegeben, um Prozesswärme für die Anlagen zu produzieren. Auch heute sei beispielsweise die Energieregion Lausitz im Verbund mit Tschechien und Polen bestens für derartige Innovationen geeignet.

Auch nach Thiemanns Einschätzung sollte das Thema „Prozesswärme durch SMR“ weiterverfolgt werden. Der Wärmesektor müsse dekarbonisiert werden, und man dürfe die verschiedenen Optionen nicht zu früh einschränken. „Es wäre volkswirtschaftlich riskant, nur auf ein Pferd zu setzen.“

Allerdings gebe es noch viele Unwägbarkeiten, etwa die Kosten für die Reaktoren. Bei den Kernkraftwerken der Vergangenheit gebe es große Skaleneffekte. Es galt: Je größer ein Reaktor, desto wirtschaftlicher kann er Strom oder Wärme produzieren, da der Brennstoff über die Gesamtbetriebsdauer nur einen begrenzten Teil der Kosten ausmacht. „Ob die Rechnung mit den SMR aufgeht, wird sich zeigen“, sagt Thiemann. Zudem sei Kernenergie immer auch ein politisches Thema. „Die Regierungen müssen das wollen.“

Auch FCA-Analyst Ruschhaupt sieht „klare wirtschaftliche und technische Gründe, warum nukleare Wärme sinnvoll sein kann“. Allerdings sei nukleare Energieerzeugung in der Praxis am Ende oft sehr teuer gewesen. „Ob das bei den kleinen modularen Reaktoren anders wird, ist schwer vorherzusehen.“

Gleichzeitig erlebe die Kombination Erneuerbare plus Wärmespeicher eine „weiterhin rasante Kostendegression“ – sie wird also immer günstiger. „Welche Technologie am Ende gewinnt oder ob sich beide behaupten können, lässt sich derzeit bisher nicht sagen.“

Ähnlich sieht das Pistner vom Öko-Institut. In jedem Energiekonzept für die nächsten Jahrzehnte würde der Anteil der erneuerbaren Energien stark ausgebaut und die Flexibilisierung, zum Beispiel mithilfe von Speichern, ausgeweitet werden müssen. „Daran würde auch ein Wiedereinstieg in die Kernenergie nichts ändern.“ Es sei deshalb fraglich, ob man zusätzlich die Probleme und Herausforderungen der Atomkraft auf sich nehmen wolle.

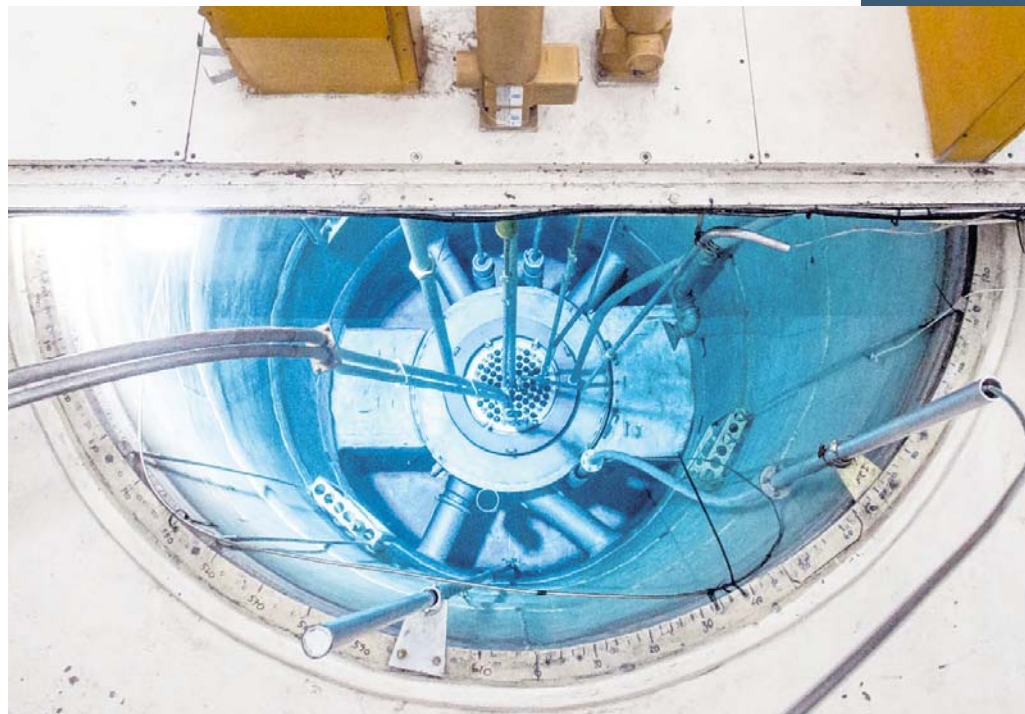
Serie „Diese grünen Ideen könnten die Welt verändern“: Von Wellenkraftwerken, CO₂-freiem Zement und Solaranlagen im Weltraum bis zu energiespendenden Algenarten – überall gibt es Ideen mit dem Potenzial, die Welt zu verändern. Nur wenige schaffen den Durchbruch. Wir stellen einige der interessantesten Innovationen vor. Wissenschaftlich begleitet wird die Serie von dem unabhängigen Thinktank Future Cleantech Architects.

46

Prozent
des Energieverbrauchs in der EU
entfallen auf Wärme. In Deutschland
sind es sogar mehr
als 50 Prozent.

Quelle: Umweltbundesamt

Kernreaktor im
Forschungszentrum in
Yogyakarta:
Absolute
Sicherheit gibt
es nicht.



GETTY IMAGES