

März 2022

BULLETIN 1



Rückblick auf die Welt der Kernkraftwerke 2021

Seite 14

Erprobtes Konzept erlebt Wiedergeburt

Seite 6

Neue Rubrik «Klartext»: Wahrnehmung versus Realität

Seite 19

Reaktortechnik aus der Schweiz

Seite 33

Inhalt

Editorial

Bewährtes neu verpackt 1

Im Gespräch mit ...

Tschechien: Kernreaktor erzeugt Wärme aus Abfällen 2

Hintergrundinformationen

Chinas Demonstrations-Kugelhaufenreaktoren am Netz 6

EU-Taxonomie: Nachhaltige Kernkraft und Gasenergie entfachen Diskussion 11

Die Kernkraftwerke der Welt 2021 14

Klartext

Die Kraft der Bilder im Kopf 19

Nukleare News

Schweiz 21

International 22

Kolumne

Ist Kernenergie Teil der Klimalösung? 27

Hoppla

Twitter-Lektion vom WWF – oder für den WWF? 32

In eigener Sache

Schweizer Start-up Transmutex entwickelt neuen Reaktor auf Thorium-Basis 33

Pinwand

36

Titelbild:
Containment von Einheit 4 des Kernkraftwerks Vogtle in den USA
(Foto: Georgia Power Company)

Impressum

Redaktion:

Marie-France Aepli (M.A., Chefredaktorin); Lukas Aebi (L.A.);
Stefan Diepenbrock (S.D.); Aileen von den Driesch (A.D.);
Dr. Benedikt Galliker (B.G.); Matthias Rey (M.Re.); Dr. Michael Schorer (M.S.)

Herausgeber:

Hans-Ulrich Bigler, Präsident
Lukas Aebi, Geschäftsführer

Nuklearforum Schweiz
Frohburgstrasse 20
4600 Olten

+41 31 560 36 50
info@nuklearforum.ch
www.nuklearforum.ch
www.ebulletin.ch

Das «Bulletin Nuklearforum Schweiz» ist offizielles Vereinsorgan des Nuklearforums Schweiz und der Schweizerischen Gesellschaft der Kernfachleute (SGK). Es erscheint 4-mal jährlich.

Copyright 2022 by Nuklearforum Schweiz ISSN 1661-1470 – Schlüsseltitel
Bulletin (Nuklearforum Schweiz) – abgekürzter Schlüsseltitel
(nach ISO Norm 4): Bulletin (Nuklearforum Schweiz).

Der Abdruck der Artikel ist bei Angabe der Quelle frei.
Belegexemplare sind erbeten.

Bewährtes neu verpackt



Marie-France Aepli

Chefredaktorin «Bulletin»

MF Aepli

Im Sommer des letzten Jahres haben wir mit dem Bulletin eine Umfrage verschickt und Sie um Ihre Meinung zu unserem Verbandsmagazin gebeten. Als Chefredaktorin bedanke ich mich hiermit ganz herzlich für Ihre zahlreichen Antworten. Zu danken haben wir auch für das Lob, das wir aus Ihren Antworten herausgehört – beziehungsweise gelesen – haben. So haben beispielsweise über 90% der Teilnehmenden der Umfrage die Aktualität der Bulletin-Artikel als «gut» oder «sehr gut» bewertet. Auch der Themenauswahl sowie der Sprache und Leserfreundlichkeit gaben über 80% diese Noten. Rund drei Viertel der Antwortenden beurteilen das Bulletin als informativ und fast ebenso viele sind der Meinung, es deckt wichtige Themen ab.

Damit aber genug Eigenlob. Auch wenn wir uns sehr über die Umfrageergebnisse gefreut haben und uns dadurch grundsätzlich in unserer Arbeit bestätigt sehen, gibt es dennoch auch kritisches Feedback. So beurteilen zum Beispiel nur rund 25% die optische Gestaltung und das Layout des Bulletins als «sehr gut». Das ist im Vergleich zum Rest der Umfrage ein auffällig tiefer Wert. Auch wünschen sich fast 30% mehr Grafiken und Bilder in der Zeitschrift. Da trifft es sich sehr gut, dass wir unabhängig von der Umfrage eine Überarbeitung des Layouts und der Farbwelt des Bulletins geplant hatten.

Sie halten das Resultat dieser Überarbeitung in den Händen und haben den ersten Unterschied bereits beim Öffnen des Couverts bemerkt: Ab sofort enthält das Bulletin farbige Fotos, sowohl auf der Umschlagseite wie auch im Innern. Dadurch wird das Heft lebendiger und attraktiver. Dank der modernen und immer günstigeren Drucktechnologie gibt es heutzutage eigentlich keine Gründe mehr, auf farbige Abbildungen zu verzichten. Den Wunsch nach grundsätzlich mehr Abbildungen nehmen wir uns auch zu Herzen.

Beim Weiterblättern werden Sie feststellen, dass der Rest des Hefts ebenfalls farbiger ist. Auch damit passen wir uns einerseits dem technologischen Fortschritt an. Andererseits wollten wir das Bulletin auch zeitgemässer gestalten und damit den Leserkreis erweitern. Die neue Schriftart soll die Lesbarkeit erleichtern. Wir haben uns sehr bewusst für eine sanfte Neugestaltung mit einem eher dezenten Farbeinsatz entschieden.

Inhaltlich ändert sich wenig: Schliesslich ist das Bulletin des Nuklearforums keine Boulevard-Zeitschrift und will auch im neuen «Kleid» mehr mit fundiertem Inhalt als mit greller Optik punkten. Die Rubrik «Forum» heisst neu «Im Gespräch mit ...» und kennzeichnet unsere Interviews. Eine Auswahl der wichtigsten News aus unserer Website erhalten Sie in der Rubrik «Nukleare News», die bisher «Fenster zum E-Bulletin» hiess. Die «Medienschau» entfällt künftig im Bulletin, eine aktuelle Zusammenstellung der Medienberichte finden Sie aber neu in unserem Newsletter. Dafür wurde die neue Rubrik «Klartext» kreiert, in welcher der/die Autor/in auch mal einen augenzwinkernden Blick auf die Nuklearbranche wirft.

Ich hoffe, die Neuerungen gefallen Ihnen und wünsche viel Spass beim Lesen!

Tschechien: Kernreaktor erzeugt Wärme aus Abfällen



Prof. Radek Škoda

Prof. Radek Škoda leitet die Entwicklung des Teplators

In Tschechien versorgen Heizkraftwerke grössere Städte mit Fernwärme. Viele davon werden noch mit Kohle betrieben und müssen ersetzt werden. Der Umstieg auf Erdgas löst das Problem der CO₂-Emissionen langfristig aber nicht. Ein neuer Kernreaktor verspricht nun einen geringen ökologischen Fussabdruck. Nuklearforscher Prof. Radek Škoda verrät im Interview, was seinen «Teplator» so besonders macht.

Wie funktioniert der Teplator?

Der Teplator ist ein schwerwassergekühlter und schwerwassermoderierter Kernreaktor, der von der Auslegung her dem kanadischen Candu-Reaktor ähnlich ist (vgl. Kasten, S. 4). Ausgediente Brennelemente aus bestehenden Kernreaktoren oder Brennelemente aus leicht angereichertem Uran (Slightly Enriched Uranium, SEU) werden in 55 Röhren mit niedrigem Druck oder Umgebungsdruck innerhalb des Schwerwassertanks eingesetzt (vgl. Grafik gegenüber). Diesen umgibt ein Grafitreflektor. Der ganze Reaktor passt in einen Würfel von sechs Meter Kantenlänge. Die Gesamtfläche des Heizwerks beträgt etwa 2000 Quadratmeter.

Wie kamen Sie auf die Idee, ausgediente Brennelemente aus Kernreaktoren zum Erhitzen von Wasser zu verwenden?

Kaum ein ausgedientes Brennelement wird heute bis zur freigegebenen Abbrandlimite oder bis zu seiner Auslegungsgrenze genutzt. In diesem bestrahlten Brennstoff steckt somit noch eine Menge Energie, welche die heutigen Reaktoren nicht nutzen können. Und es gibt buchstäblich Tausende solcher Brennelemente neben jedem Kernkraftwerk – entweder in Abklingbecken oder in Zwischenlagern. Wir haben vorerst den Reaktorkern für Brennstoffe aus WWER-440-Reaktoren entworfen, aber

können ihn leicht an Brennelemente aus anderen Siedewasser- oder Druckwasserreaktoren anpassen. Der Vorrat an ausgedienten Brennelementen, die wir für unseren Reaktor verwenden können, ist enorm: Die aktuell in der

Radek Škoda

Radek Škoda erwarb 1998 seinen Hochschulabschluss in experimenteller Teilchenphysik an der Universität Bergen und 2002 seinen Dokortitel in Nukleartechnik an der Prager Universität ČVUT. Nach einem weiteren Abschluss in Wirtschaftswissenschaften arbeitete er im Bereich «Quantitative Finance» bei Banken in Dublin und London, bevor er seine Lehrtätigkeit an der ČVUT und ZČU aufnahm und Gastdozent an weiteren renommierten Universitäten wurde. Škoda war zudem Direktor des Nuclear Science Center an der Texas A&M University, wo er Experimente an Kernreaktoren durchführte. Früher hat er die tschechische Regierung in Fragen der Energiestrategie beraten. Heute leitet er eine tschechische Kernforschungsgruppe und ist Co-Direktor des Intercontinental Nuclear Institute.

Tschechischen Republik vorhandene Menge reicht beispielsweise aus, um alle grossen Städte 30 Jahre lang zu beheizen. Jährlich kommen weitere 280 Brennelemente aus WWER-440-Reaktoren hinzu, während ein 150-MW-Teplator nur gerade 55 Brennelemente pro Jahr benötigen würde. Natürlich dürfen wir nur intakte und ordnungsgemäss bestrahlte Brennelemente weiterverwenden.

Wie sicher ist ein solcher Reaktor?

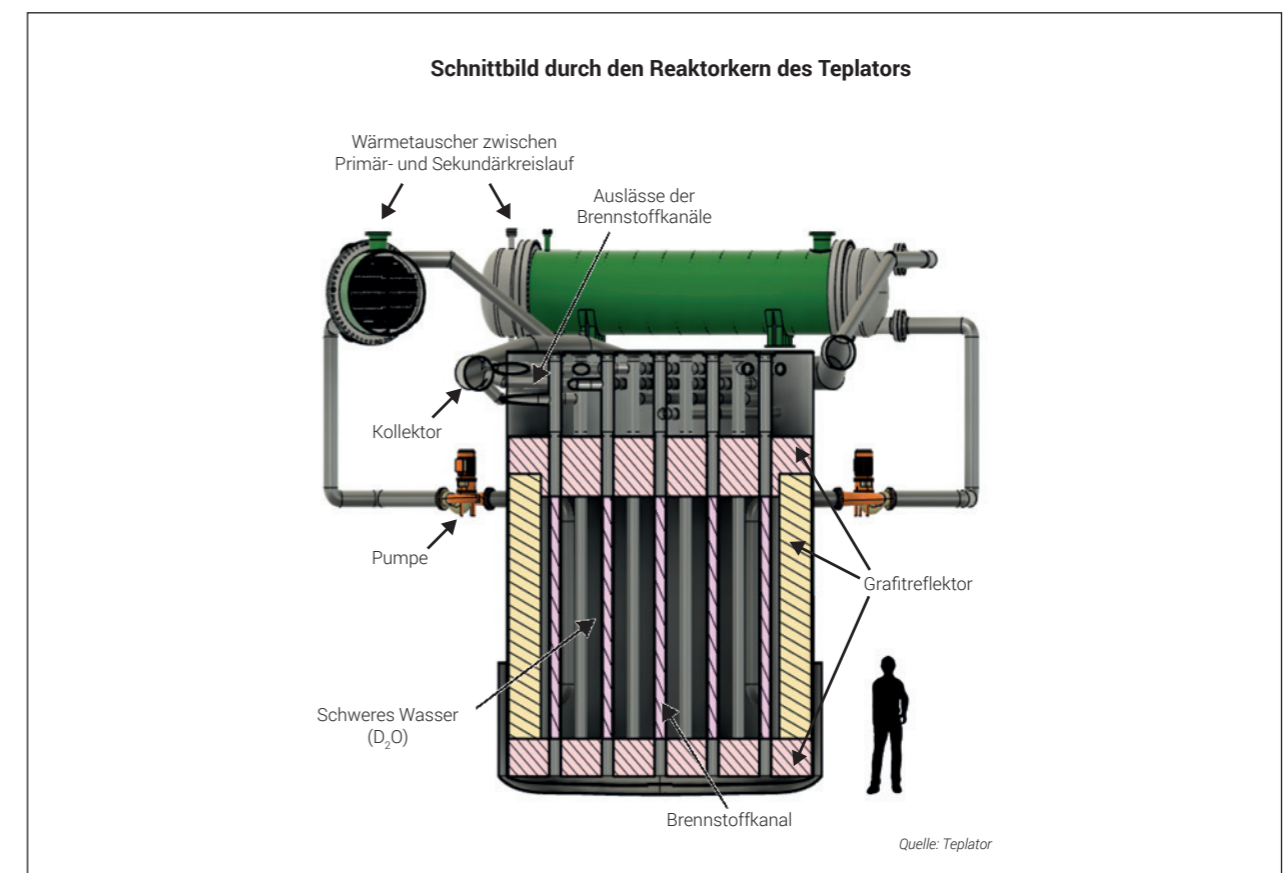
Der Teplator ist sehr viel sicherer als die derzeitigen Leichtwasserreaktoren, von denen er den Brennstoff übernimmt – er läuft mit geringerem Neutronenfluss, geringerer Leistungsdichte, niedrigerer Brennstofftemperatur und geringerem Wasserdruck als die derzeitigen Leichtwasserreaktoren. Ausserdem ist der Kern aufgrund der Schwerwasser-Auslegung voluminöser, und das grössere Wasserinventar sorgt für ein besseres Einschwingverhalten.

Welches ist der geplante Anwendungsbereich für den Teplator?

Das Haupteinsatzgebiet sind grössere Städte mit über 100'000 Einwohner, die bereits ein Fernwärmenetz haben, das mit Kohle oder Erdgas geheizt wird. Es gibt Dutzende solcher Standorte vor allem in Nord-, Mittel- und Osteuropa. Wir zielen auch auf einige Prozesswärmeanwendungen innerhalb des Temperaturbereichs des Teplators ab. Mit Hilfe eines Adsorptionskreislaufs kann der Teplator sogar in Städten mit bestehenden Kühlwassersystemen, wie in Doha oder Kuwait-Stadt, eine Alternative zu den Klimaanlagen darstellen.

Wie schätzen Sie die Akzeptanz der tschechischen Bevölkerung ein, in der Nähe eines Teplators zu wohnen?

Bislang war sie ausserordentlich gross; die billige, emissionsfreie und zuverlässige Wärme aus dem Teplator ist



Der Teplator im Überblick

Der innovative Kernreaktor Teplator wurde von Forschenden des Czech Institute of Informatics, Robotics and Cybernetics der Czech Technical University in Prag (ČVUT) und der University of West Bohemia (ZČU) entwickelt. Er wird nur Wärme aber keinen Strom produzieren. So kann die Anlage einfacher und mit weniger Materialaufwand konstruiert werden.

Wie beim kanadischen Candu-Schwerwasserreaktor, lässt sich der Brennstoff im laufenden Betrieb austauschen. Der Teplator kann ausgediente Brennelemente aus bestehenden Kernreaktoren weiterverwenden. Sie enthalten noch immer genügend spaltbares Uran-235 für eine Heizsaison von bis zu zehn Monaten. Der Teplator erzeugt somit aus radioaktiven Abfällen Wärme – umweltfreundlich, sicher und erst noch kostengünstig. Laut einer Berechnung aus 2019 liegen die Gestehungskosten bei weniger als vier Euro pro Gigajoule – umgerechnet weniger als 1,5 Rappen pro Kilowattstunde. Die Genehmigungsverfahren als nukleare Anlage und die Standortsuche in Tschechien laufen. Sobald beides abgeschlossen ist, kann der erste Teplator gebaut werden.

Der Schwerwasserreaktor besitzt drei getrennte Kreisläufe (vgl. Grafik gegenüber), die jeweils nur über Wärmetauscher miteinander verbunden sind. Drei grosse davon sitzen im primären Kreislauf (vgl. Grafik Seite 3, grüner Behälter). Im mittleren Kreislauf lassen sich Energiespeicher integrieren. Der dritte Kreislauf ist das Fernwärmenetz. Durch diese Anordnung der Kreisläufe können keine radioaktiven Stoffe aus dem Teplator ins Fernwärmenetz gelangen. Der innovative Reaktor verfügt zudem über ein Notabschaltssystem. Im Notfall kann die Nachzerfallswärme über die drei Wärmetauscher im Primärkreislauf effizient in den Wärmespeicher im mittleren Kreislauf abgeführt werden.

in der aktuellen Green-Deal-Situation ein Gewinn. Ausserdem planen wir nicht, solche Reaktoren innerhalb der Städte zu bauen. Der ideale Standort liegt abseits der beheizten Städte – idealerweise in einer Entfernung von 10 bis 20 Kilometer mit einer Anbindung des Teplators via Pipeline – was die lokale Akzeptanz fördert.

Wie weit ist das Projekt fortgeschritten?

Wann wird der erste Reaktor in Betrieb gehen?

Die Projektidee begann 2019, die Physik des Reaktorkerns wurde im vergangenen Jahr fertiggestellt, ebenso wie die Konzeptauslegung. Jetzt arbeiten die Projektgruppen aus Pilsen und Prag an der Grundkonzeption, die der Nuklearaufsichtsbehörde vorgelegt werden soll. Wenn wir von einem optimistischen Zeitplan mit bereits genehmigtem Standort, uneingeschränkter staatlicher Unterstützung, keinen rechtlichen Hindernissen und optimaler Finanzierung ausgehen, wird es sieben Jahre bis zur Inbetriebnahme dauern.

Wie wurde die Entwicklung finanziert?

Zu Beginn hatten wir einige private Startkapitalgeber, und wir nutzen auch institutionelle Fördermittel zur Unterstützung der Forschung. Derzeit sprechen wir mit mehreren Investoren, um das gemeinsame Projekt voranzutreiben, und wir werben ständig die besten tschechischen Nuklearingenieure an.

Kann der Reaktor wirtschaftlich betrieben werden?

Das war die allererste Berechnung, die wir angestellt haben: 2019 war die Wärme aus dem Teplator doppelt so günstig wie die Wärme aus Erdgas; bei den extrem hohen Erdgaspreisen von heute ist die Spanne noch grösser.

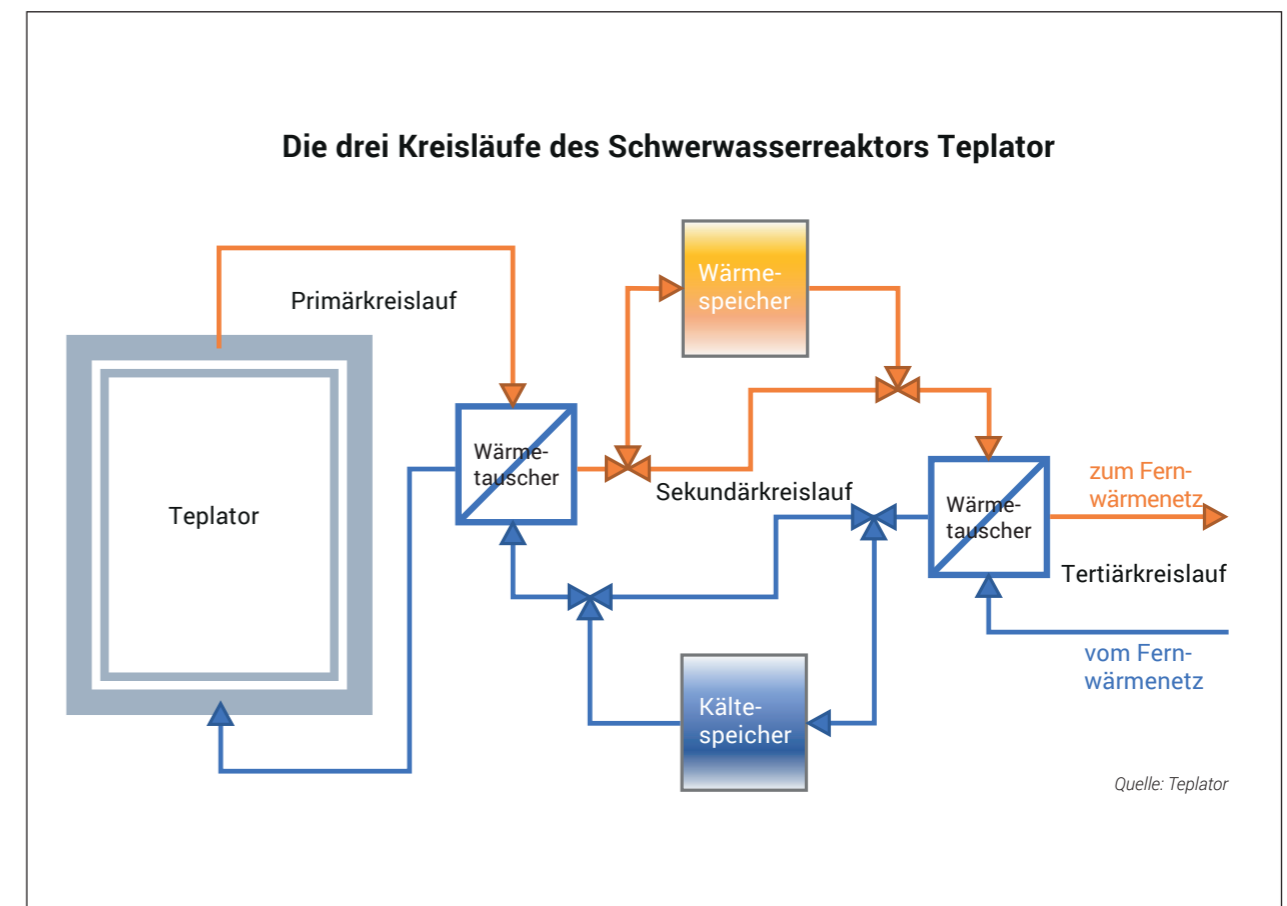
Was waren die Herausforderungen bei der Entwicklung? Welche Schwierigkeiten müssen noch überwunden werden?

Wenn man einen Kern aus bereits bestrahltem Brennstoff optimiert, erfordern die ersten Berechnungen eine enorme Rechenleistung. Unsere Neutronikgruppe hat buchstäblich mehrere Prozessoren verbrannt. Was die mechanische Konstruktion anbelangt, so sind die meisten Komponenten ziemlich Standard. Zum Beispiel verfügt man beim Brennstoff über jahrzehntelange Erfahrung. Viele Komponenten im Zusammenhang mit

schwerem Wasser können direkt aus der Candu-Auslegung übernommen werden. Die Brennelementwechselanlage ist ein Originaldesign. Das grösste Ärgnis für uns war die mediale Trollerei, die direkt von einem grossen Erdgasexportland finanziert wurde. Je mehr Dreck geworfen wird, desto mehr sind wir davon überzeugt, dass wir an etwas wirklich Bahnbrechendem arbeiten.

Kann der Teplator weltweit eingesetzt werden? Haben Sie interessierte Kunden im Ausland?

In der Tat gab es Gespräche mit mindestens vier verschiedenen Ländern. Alle fossilen Fernheizwerke stehen heute vor schwierigen Zeiten mit den aktuellen CO₂-Vorschriften. Auch die Länder mit bestehenden Kernkraftwerken haben Tausende von ausgedienten Brennelementen, die leicht für die Wärmeerzeugung weiterverwendet werden können. (B.G.)



Chinas Demonstrations-Kugelhaufenreaktoren am Netz

Am 20. Dezember 2021 hat in China das erste Kraftwerk mit Kugelhaufenreaktoren den Betrieb aufgenommen. Diese vor mehr als fünfzig Jahren in Deutschland erprobte Reaktorauslegung verfügt über eine Reihe besonderer Eigenschaften. Prof. emeritus Horst-Michael Prasser erklärt die Vor- und Nachteile dieser Technik.

Der HTR-PM – der «High-Temperature Gas-Cooled Reactor – Pebble Bed Module» steht in Shidao Bay in der chinesischen Provinz Shandong, rund 600 Kilometer südöstlich von Peking. Der HTR-PM ist eine mit Helium gekühlte Reaktoreinheit mit einer elektrischen Leistung von 100 MW. Seine Technologie geht auf die Pionierarbeit in Deutschland zurück (vgl. Kasten Seite 10) und baut auf den dort gemachten Betriebserfahrungen auf. Entwickelt worden ist er an der Tsinghua-Universität in Peking, wo seit 2003 der Versuchsreaktor HTR-10 erfolgreich betrieben wird.

Vorteil: Brennstoff sehr gut eingeschlossen

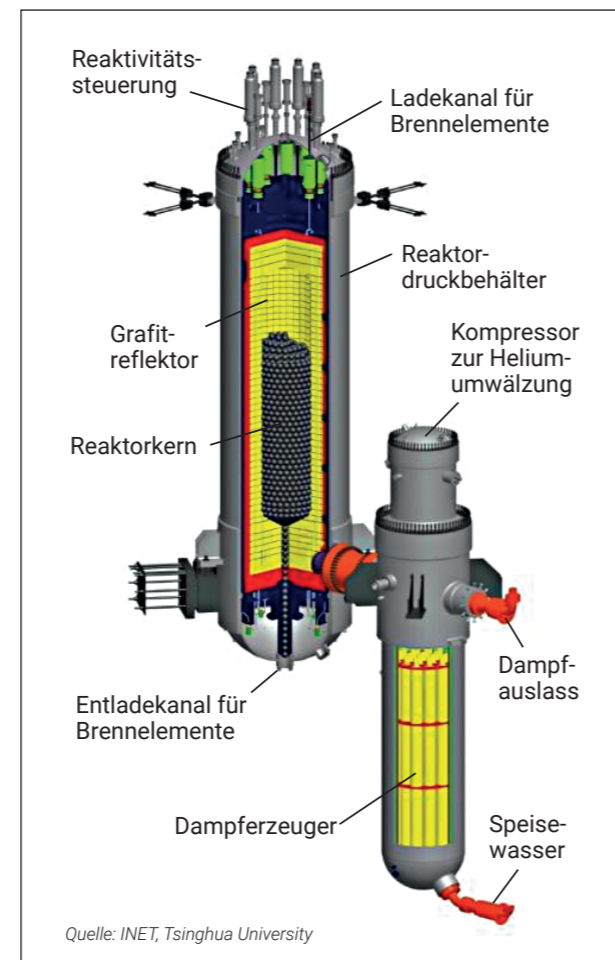
Horst-Michael Prasser, von 2006 bis 2021 ordentlicher Professor für Kernenergiesysteme an der ETH Zürich und von 2007 bis 2017 Leiter des Labors für Thermohydraulik am Paul Scherrer Institut (PSI), erklärt die wesentlichen Unterschiede zu den herkömmlichen Leichtwasserreaktoren (LWR) wie folgt: «Bei diesem Reaktortyp befindet sich der Brennstoff in kleinen, etwa 0,5 mm grossen Kügelchen, die von einer dünnen und dennoch beständigen und weitgehend undurchlässigen Schicht aus Siliziumkarbid umgeben sind. Etwa Zehntausend dieser sogenannten «Coated Particles» werden in billardkugelgrosse Grafitkugeln eingesintert.»

Die Siliziumkarbidschicht ersetzt dabei das Brennstabhüllrohr im LWR. Sie hält weit höhere Temperaturen aus als Zirkonium, aus dem die Hüllrohre bestehen. «Die radioaktiven Bestandteile des Brennstoffs, insbesondere die flüchtigen Radioisotope der Edelgase Krypton und Xenon sowie radioaktives Jod-131 und die besonders problematischen Cäsium-Isotope-137 und -134, die im Fall von Fukushima weite Landstriche kontaminiert haben, werden durch die Siliziumkarbidschicht zuverlässig eingeschlossen», erklärt Prasser.

Vorteil: Kernschmelze nicht möglich

Diese kugelförmigen Brennelemente werden in den Reaktorbehälter eingefüllt, bis die kritische Masse bei der

gewünschten Betriebstemperatur erreicht ist (vgl. Grafik). Der Abbrand wird nicht wie beim LWR durch die kontinuierliche Entnahme von Neutronenabsorberrn kompensiert, sondern durch die ständige Zufuhr von frischen Kugeln, während unten laufend Kugeln entnommen werden, auf ihren Abbrand geprüft und je nach Ergebnis oben wieder eingegeben oder entsorgt werden.



Der chinesische HTR-PM mit dem tiefgelegten Dampferzeuger. Die Temperatur des Heliums am Reaktorausstritt ist 750 °C, die Dampftemperatur liegt bei 570 °C.

Nach durchschnittlich 15 Durchläufen ist dann der geplante Abbrand erreicht. «Es ist immer genau so viel Spaltstoff im Reaktor, wie es für eine selbsterhaltende Kettenreaktion braucht, nicht mehr», beschreibt Prasser einen weiteren Vorteil dieses Reaktortyps. «Zusammen mit den starken negativen Rückkopplungen, die die Kettenreaktion bei steigender Temperatur dämpfen, führt das zu einer wichtigen neuen Sicherheitseigenschaft: Selbst bei einem Totalausfall der Kühlung – hier zum Beispiel durch Ausfall des Heliumkompressors oder falls bei einem Leck das Helium aus dem Reaktor entweicht – kommt es, anders als beim LWR, nicht zu einer unzulässigen Überhitzung des Brennstoffs bzw. einer Kernschmelze.»

Der Grund dafür liegt darin, dass bei einem Temperaturanstieg die Reaktorleistung aus physikalischen Gründen selbsttätig – ohne Eingriff von Schutzsystemen oder der Operateure – auf ein Niveau abfällt, bei dem die noch freiwerdende Wärme über die Reaktorwand ins Containment abgeführt werden kann, selbst wenn keine Abschaltung durch die Steuerstäbe erfolgt. «Gänzlich ohne ein Kühlsystem kommt man jedoch auch beim HTR-PM nicht aus, denn die zusätzliche Wärme muss aus der Reaktorkaverne abgeführt werden. Das notwendige System funktioniert jedoch ohne Notstromversorgung, es ist ein passives Sicherheitssystem. Ausserdem», hält Prasser fest, «kann dieses Notkühlkonzept nur funktionieren, weil der Reaktorkern, gemessen an seiner Wärmeproduktion, ein grosses Volumen hat, also eine im Vergleich zum LWR viel geringere Leistungsdichte.»

Geringe Leistung, dafür modular erweiterbar

«Das heisst: Der Reaktor selbst ist inhärent sicher in Bezug auf den Ausfall der Kühlung», fasst Prasser zusammen. «Allerdings muss die thermische Leistung auf eine Grössenordnung von 200 bis 300 MW begrenzt werden, sonst kann die Maximaltemperatur im Reaktor nicht unter 1600 °C gehalten werden.» Bei höheren Temperaturen könnten Jod und Cäsium durch die Siliziumkarbidschicht hindurchtreten, in den Heliumkreislauf und von dort unter ungünstigen Umständen in die Umgebung gelangen. «Deshalb sind Kernkraftwerke mit Kugelhaufenreaktoren modular aufgebaut: Mehrere Reaktoren erzeugen Wärme für eine gemeinsame Turbine. Vorteilhaft ist die Dampf-Austrittstemperatur von rund 570 °C. Das

erlaubt den Einsatz einer normalen Dampfturbine statt der auf Sattedampf optimierten Turbinen wie bei den LWR.» Der Heissdampf erhöht den Wirkungsgrad des Kraftwerks auf über 40%.

Dennoch Sicherheitssysteme nötig

Ganz ohne technische Sicherheitssysteme kommt der Kugelhaufenreaktor aber nicht aus, denn es sind auch andere Störfallszenarien als der oben beschriebene Kühlausfall zu beherrschen. «Falls zum Beispiel Wasser in den Kern eindringt und das Helium verdrängt, könnte der Grafit der Kugeln mit dem Wasserdampf reagieren. Dabei entsteht Wasserstoff und Kohlenmonoxid. Ausserdem würde eindringendes Wasser den Reaktor überkritisch werden lassen. Das wäre bei einem Bruch eines Dampferzeugerheizrohrs zu erwarten», erklärt Prasser. «In diesem Fall wird unter anderem eine automatische Absperrung der Speisewasserzufuhr aktiv. Ausserdem ist beim HTR-PM – anders als beim AVR in Jülich (vgl. Kasten Seite 10) – der Dampferzeuger unterhalb des Reaktorkerns angeordnet. Wasserdampf ist schwerer als Helium und kann deshalb nur langsam nach oben in den Reaktorbehälter gelangen.»

Ein anderes Szenario betrachtet einen Lufteinbruch. Dabei käme es ebenfalls zu einer Beschädigung von Grafitstrukturen und Brennelementkugeln, wenn nicht zusätzliche Massnahmen getroffen werden. Prasser macht aber auch deutlich, dass ein massiver Lufteinbruch höchstens bei einem äusserst unwahrscheinlichen Extremereignis – etwa einem Megaerdbeben – denkbar wäre. «Der Vorteil gegenüber anderen Reaktortypen wäre allerdings, dass sich solche Störfälle sehr langsam entwickeln würden und sehr viel Zeit für Gegenmassnahmen bliebe.»

Ein weiterer Vorteil: Das durch den Reaktor strömende Helium wird während des Betriebs nicht radioaktiv. Es ist zudem nicht giftig und kann weder brennen noch explodieren. Sollte es bei einem Worst-Case-Störfall freigesetzt werden, könnten allenfalls mitgeführte radioaktive Staubpartikel oder Spuren von flüchtigen Spaltprodukten, die durch die Siliziumkarbidschicht hindurch diffundieren, in die Umwelt gelangen – «kein Vergleich zu Freisetzungen, wie sie in Fukushima aufgetreten sind», merkt Prasser an. →

Viel Sicherheit, aber wenig Brüten und keine Transmutation

In den Jahren 2015 bis 2019 leitete Prasser ein von Swisselectric und Swissnuclear finanziertes Projekt zur Technologie des Kugelhaufenreaktors. Es gelang, den Entwickler dieses Reaktortyps als Partner zu gewinnen, das Institut für nukleare und neue Energietechnologien (INET) der Tsinghua-Universität. Ein wichtiges Ziel des Projekts war der Know-how-Erhalt. Viele Studierende des Masterprogramms in «Nuclear Engineering» der beiden ETH in Zürich und Lausanne haben ihre ersten wissenschaftlichen Sporen durch Beiträge zu diesem Projekt verdient. «Ausserdem konnten wir unserer Aufgabe gerecht werden, die Entwicklung auf dem Gebiet neuer Reaktorkonzepte zu verfolgen», fügt Prasser hinzu.

Zu den betrachteten Themen gehörten Sicherheitsaspekte, mögliche alternative Brennstoffe (etwa Thorium), Entsorgungsszenarien sowie Kostenschätzungen. Nach seiner Beurteilung ist der HTR-PM strenggenommen kein Reaktor der Generation IV, obwohl er

vielfach mit einer gewissen Berechtigung als solcher bezeichnet wird, weil er kein Wasser als Kühlmittel verwendet: «Er beruht jedoch nicht auf schnellen Neutronen und kann daher nicht das gesamte Programm von Brüten bis Transmutation abdecken. Man kann zwar Thorium-232 einsetzen, aber das geht mit einem Schwerwasserreaktor vom kanadischen Typ Candu auch. Zudem ist er mit der aus Sicherheitsgründen auf 750 °C gesenkten Austrittstemperatur des Heliums kein echter Hochtemperaturreaktor. Damit lässt sich weder ein kombinierter Gas- und Dampfturbinenprozess gut fahren, noch lässt sich Wasserstoffgas direkt erzeugen.» Ein auf der Basis von Schwefelsäure und Jod als Katalysatoren beruhender Kreislaufprozess, der mit relativ niedrigen Prozesstemperaturen auskommt, ist seit langem als potentieller Kandidat im Gespräch, benötigt aber nach chinesischen Angaben immer noch mindestens 800–900 °C. «Sicher lässt sich die Temperatur später in Richtung höherer Werte optimieren, sobald mehr Betriebserfahrungen vorliegen», hofft Prasser.

Nachteil: Abfallvolumen

Den Vorteilen der Brennstoffkugeln steht auch ein Nachteil entgegen: «Im Vergleich zu einem LWR ist das Volumen des ausgedienten Brennstoffs – also des hochaktiven Abfalls in einem Land mit direkter Entsorgung ohne Wiederaufarbeitung – pro produzierter Kilowattstunde 30- bis 50-mal grösser», merkt Prasser an. «Dass dabei die Aktivität bezogen auf das Volumen entsprechend geringer ist, macht aber keinen Unterschied.»

Vorteilhaft ist, dass die Kugeln relativ einfach in einem luftgekühlten Trockenlager auf dem Kraftwerksgelände zwischengelagert werden können. Der Platzbedarf in einem Tiefenlager wäre jedoch wegen des hohen Grafitanteils der Kugeln viel zu gross. Obwohl auch im Tiefenlager die Stabilität der Siliziumkarbidschicht in den kleinen Brennstoffpartikeln wie auch die Grafitumhüllung sehr gute Barrieren darstellen, geht Prasser davon aus, dass man das nach heutigen Standards gängige Einschweissen des Abfalls in dickwandige Tiefenlagerkanister nicht einsparen könnte.

Option für die Schweiz?

Ist der HTR-PM eine Option für die Schweiz? «In Ländern, in denen die Wiederaufarbeitung ausgedienten Kern-

brennstoffs gesetzlich untersagt ist, wird das hohe Volumen hochaktiven Abfalls zum Problem. Mindestens erforderlich wäre eine Konditionierung des ausgedienten Brennstoffs, sonst hat der HTR-PM bei einer direkten Tiefenlagerung keine Zukunft», macht Prasser deutlich. «Wenigstens der Grafit, in den die Brennstoffkugeln eingesintert sind, müsste abgetrennt werden. Denkbar wäre eine Wiederverwendung zur Produktion neuer Kugeln.»

Eine Vorgehensweise für eine experimentelle Fragmentierung von echten ausgedienten und entsprechend stark radioaktiven Kugeln mit einer in der Schweiz entwickelten Technologie wurde in Rahmen des bereits genannten Forschungsprojekts erarbeitet. Momentan sieht Prasser jedoch kaum Chancen für ein solches Experiment in der Schweiz, geschweige denn für den Bau dieses Reaktortyps selbst. Wer die Vorteile des HTR-PM nutzen will, müsse «politisch über die Bücher», wie bei jedem anderen Kernreaktor auch. Eine Alternative zur Abfallkonditionierung im eigenen Land wäre, ausgediente Kugeln zum Produzenten zurückzuschicken. «Auch die Uran mit etwa 9% Anreicherung enthaltenden Kugeln werden derzeit einzig in China produziert», merkt Prasser an. «Für eine Kernbeladung sind 420'000 Stück nötig. Zudem erreichen täglich 400 Kugeln den Zielabbrand und müssen durch frische ersetzt werden.»

Entsprechend gross ist der Reaktorbehälter, der eine Höhe von 25 m bei einem Durchmesser von 5,7 m erreicht – viermal so gross wie bei einem LWR. Dass der HTR-PM als «Small Modular Reactor» gilt, ist der geringen Leistung und nicht seiner Grösse zuzuschreiben. Dafür sind die Kugeln einfacher herzustellen als Brennstäbe für einen LWR. «Für einen Einsatz in der Schweiz müssten die Versorgungs- und die Entsorgungsfrage gelöst werden», macht Prasser deutlich. «In beiderlei Hinsicht wären wir von China abhängig, falls sich keine Alternative aufbauen lässt. Unter den derzeitigen politischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen sieht es also insgesamt schlecht aus für einen Schweizer Kugelhaufenreaktor, selbst wenn das Neubauverbot fallen würde», meint Prasser.

Nach Angaben der Tsinghua-Universität dürften die Stromgestehungskosten der ersten HTR-PM (first of a kind, FOAK) etwa 15–20% höher liegen als bei einem Druckwasserreaktor gleicher Leistung. Für die erste HTR-PM600-Standardanlage sollen die Gestehungs-

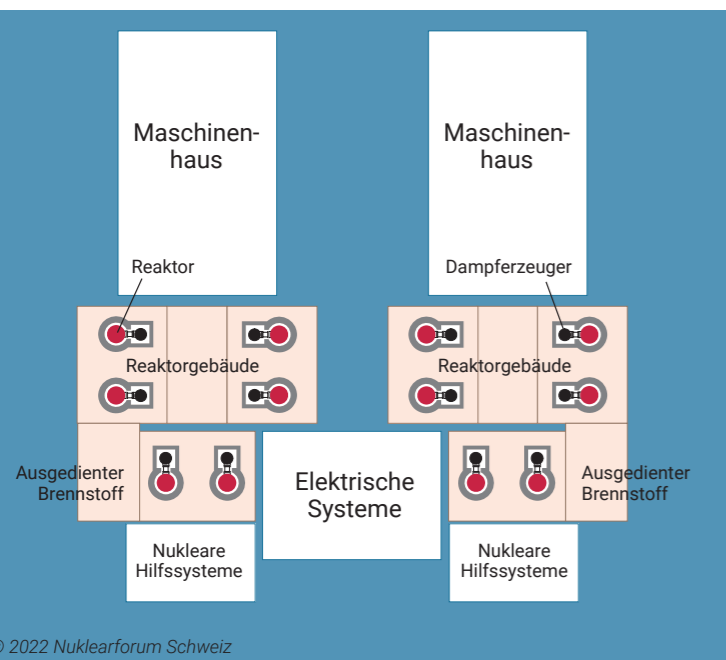
kosten auf 75% sinken und beim Aufnehmen der kommerziellen Serienproduktion auf weniger als 40%. Als Hauptvorteil der Kugelhaufenreaktoren wird die bessere Eignung für Standorte weitab vom Meer und näher zu Ballungszentren gesehen. (M.S.) →

Standardanlage mit 600 MW_{el}

Die beiden Ende 2021 am Standort Shidao Bay in Betrieb gegangenen HTR-PM haben eine thermische Leistung von je 250 MW und eine elektrische Nettoleistung von je 100 MW. Die beiden als Demonstrationsprojekte bezeichneten Einheiten versorgen eine gemeinsame Dampfturbine und wurden für eine Betriebszeit von 40 Jahren ausgelegt.

Strategisches Ziel in China ist, die Vorteile des HTR-PM – hohe inhärente Sicherheit, hohe Energieeffizienz, hohe Dampftemperaturen, modulare Bauweise und weitgehende Standortfreiheit (kein Kühlwasserbedarf) – gezielt zu nutzen. Im Vordergrund stehen das Auskoppeln von Prozesswärme für die Industrie sowie der Ersatz der heutigen sowohl Strom wie auch Fernwärme liefernden Kohlekraftwerke in der Nähe von Städten. Am Horizont steht die Absicht, diesen Reaktortyp auch für die Produktion von Wasserstoff einzusetzen.

Als nächsten Schritt sollen die Basiseinheiten je nach Bedarf zu Gruppen bis 600 MW_{el} zusammengesetzt werden – die geplante Standardanlage HTR-PM600 besteht aus sechs Reaktoren mit einer einzigen Turbogeneratorgruppe. Zwei solche Anlagen ergeben zusammen eine Leistung vergleichbar mit einem grossen, herkömmlichen LWR (vgl. Grafik gegenüber). Nach chinesischen Angaben soll dieser Reaktortyp auch exportiert werden – zum Beispiel in aride Länder mit Wassermangel, wo er fern von Flüssen oder Meeresküsten gebaut oder zur Meerwasserentsalzung eingesetzt werden kann.



Schematisches Layout für ein Kraftwerk mit 1200 MW, bestehend aus zwei Standardanlagen HTR-PM600. In der Standardanlage treiben drei T-förmig angeordnete Module aus je zwei Reaktoreinheiten eine gemeinsame Dampfturbine an, die eine Leistung von maximal 600 MW elektrisch bereitstellt.

Am Anfang stand Deutschland

Prototypen von Kugelhaufenreaktoren wurden zuerst in Deutschland gebaut. Die Mutter aller Kugelhaufenreaktoren ist der heliumgekühlte AVR (Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor) mit einer Leistung von 13 MW_{el}, der 1967 im Forschungszentrum Jülich in der Nähe von Köln den Betrieb aufgenommen hat. Der insgesamt sehr erfolgreiche AVR hatte aber auch unausgereifte technologische Lösungen, so beispielsweise die Anordnung des Dampferzeugers über dem Reaktorkern. Dies erlaubt es dem schweren Dampf bei einem Heizrohrbruch in den vom leichteren Heliumgas durchströmten Reaktorkern abzusinken. Der AVR wurde 1988 im Nachgang zum Unfall in Tschernobyl stillgelegt.

Nach dem AVR wurde 1971 mit dem Bau des ebenfalls heliumgekühlten Thorium-Hochtemperatur-Reaktors (THTR) mit einer elektrischen Leistung von 300 MW begonnen. 1985 ging diese Anlage in Hamm-Uentrop in Nordrhein-Westfalen erstmals ans Netz. Es zeigte sich jedoch, dass diese Anlage zu gross und zu komplex war, sodass zahlreiche technische Probleme auftraten, beispielsweise mit steckengebliebenen Brennstoffkugeln. Als Konstruktionsfehler erwiesen sich unter anderem die direkt in die Kugelpackungen zu pressenden Abschaltstäbe. Im Verbund mit den hohen Betriebskosten und der politischen Abwendung von der Kernenergie in Deutschland wurde der THTR 1988 stillgelegt.

Das deutsche Wissen und die mit den Prototypen gemachten Erfahrungen wurden danach in China und Südafrika wieder aufgenommen. Anders als in China, wo vorsichtigerweise auf Dampferzeuger und -turbine gesetzt wird, sollte in Südafrika beim «Pebble Bed Modular Reactor» (PBMR) das Kühlmittel Helium direkt eine Gasturbine antreiben. Dieses Projekt wurde 2010 vorerst eingestellt.



Kommerzielle Brennstoffkugelfabrik in Baotou, Innere Mongolei, mit einer Produktionskapazität von 300'000 Kugeln pro Jahr. (Foto: CNEC)

Weiterführende chinesische Quellen

- Zhang Zuoy et al. (2019): Development Strategy of High Temperature Gas Cooled Reactor in China. Publiziert in: Strategic Study of Chinese Academy of Engineering, Vol. 21, Issue 1, pp 12–19. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2019.01.003
- Zhang Ping et al. (2019): Nuclear Hydrogen Production Based on High Temperature Gas Cooled Reactor in China. Publiziert in: Strategic Study of Chinese Academy of Engineering, Vol. 21, Issue 1, pp 20–28. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2019.01.004

EU-Taxonomie: Nachhaltige Kernkraft und Gasenergie entfachen Diskussion

Mit ihrer Entscheidung, Energie aus Kernkraft und Erdgas unter bestimmten Bedingungen als nachhaltig zu qualifizieren, hat die EU-Kommission ein wichtiges energie- und klimapolitisches Zeichen gesetzt. Gleichzeitig hat der entsprechende Beschluss des delegierten Rechtsakts zur Taxonomie durch die Kommission in vielen europäischen Ländern eine rege öffentliche Diskussion über beide Energieformen ausgelöst.

Die EU-Kommission hat Wort gehalten: Angekündigt noch für das Jahr 2021 hat sie am 31. Dezember 2021 kurz vor Mitternacht ihren Entwurf eines delegierten Rechtsakts den EU-Mitgliedsstaaten zugesendet, der die Stromerzeugung durch Kernkraft und durch Erdgas unter bestimmten Bedingungen als nachhaltig einstuft. Nach intensiver öffentlicher Diskussion hat die Kommission den delegierten Rechtsakt zur Taxonomie am 2. Februar 2022 schliesslich – mit einigen wenigen, aber ohne grundsätzliche Änderungen – angenommen. Die Kriterien, nach denen Kernenergie als nachhaltig gilt, wurden dabei von der Kommission eingehender präzisiert.

Die EU-Finanzkommissarin Mairead McGuinness sagte anlässlich der Veröffentlichung der Taxonomie-Regelungen: «Die EU hat sich verpflichtet, bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen, und dazu müssen wir alle verfügbaren Mittel nutzen. Die Verstärkung privater Investitionen in den Übergang ist eine Voraussetzung für die Verwirklichung unserer Klimaziele. Heute haben wir strenge Bedingungen präsentiert, die zur Mobilisierung von Kapital für den Ausstieg aus schädlicheren Energieträgern wie Kohle beitragen. Und wir stärken die Markttransparenz, damit Anleger bei Investitionsentscheidungen ohne Weiteres erkennen können, ob Gas- oder Kernenergieaktivitäten im Spiel sind.» Sie betonte, dass der Energiemix nach wie vor nationale Angelegenheit bleibe. Jedes Land bestimme in der EU selbst, auf welche Energiequellen es setze.

Insgesamt folgte die Kommission den Empfehlungen ihrer wissenschaftlichen Berater. Auch wenn zahlreiche öffentliche und politische Reaktionen einen anderen Eindruck machten: Überraschend kam diese Entscheidung nicht. Bereits im Oktober des vergangenen Jahres hatte EU-Kommissionspräsidentin Ursula von der Leyen öffentlich angekündigt, dass die EU für den europäi-

schen «Green Deal» auf Kernenergie als stabile Energie und auf Gas als Brückentechnologie setze und die Taxonomie entsprechend ausgestaltet werde. Und schon Mitte des letzten Jahres kam die Gemeinsame Forschungsstelle der Europäischen Kommission (Joint Research Center – JCR) zu dem Schluss, dass die Kernenergie weder für die menschliche Gesundheit noch für die Umwelt schädlicher ist als jede andere als nachhaltig geltende Technologie zur Energieerzeugung. Im Anschluss an die Veröffentlichung Ende Dezember wurden zwei Expertengruppen für nachhaltiges Finanzwesen wie auch die Mitgliedstaaten der EU zum Entwurf der Taxonomie konsultiert. →

Was bedeutet «Taxonomie»?

«Die EU-Taxonomie soll dazu beitragen, in der ganzen Europäischen Union mehr Geld in nachhaltige Tätigkeiten zu lenken. Wenn Anleger in die Lage versetzt werden, in nachhaltigere Technologien und Unternehmen zu investieren, wird dies wesentlich zur Klimaneutralität Europas bis 2050 beitragen. Die EU-Taxonomie ist ein wissenschaftsbasiertes Transparenzinstrument für Unternehmen und Investoren. So werden Anleger bei Investitionen in Projekte und Wirtschaftstätigkeiten, die sich deutlich positiv auf Klima und Umwelt auswirken, künftig von der gleichen Grundlage ausgehen können. Darüber hinaus werden Offenlegungspflichten für Unternehmen und Finanzmarktteilnehmer festgelegt.» (Europäische Kommission, Medienmitteilung, 2. Februar 2022)

Delegierter Rechtsakt

Delegierte Rechtsakte sind von der EU-Kommission erlassene Rechtsakte ohne Gesetzescharakter, die der Änderung oder Ergänzung von nicht wesentlichen Vorschriften von Rechtsakten dienen. Zuvor muss die Kommission dazu allerdings vom Europäischen Rat und Parlament dazu ermächtigt worden sein. Die Kommission konsultiert Sachverständige der EU-Mitgliedstaaten, bevor sie delegierte Rechtsakte erlässt. Ausserdem können sowohl das Europäische Parlament als auch der Rat der Europäischen Union die Übertragung der Befugnis an die Kommission widerrufen. Zudem kann ein von der Kommission erlassener delegierter Rechtsakt nur in Kraft treten, wenn der Rat oder das Parlament innerhalb einer im Basisrechtsakt festgelegten Frist keine Einwände erhebt. (EUR-Lex)

Anforderungen für die Kernenergie

Die jetzt vorliegenden Taxonomie-Anforderungen für die Kernenergie sind anspruchsvoll:

- Investitionen in neue Kernkraftwerke fallen nur darunter, wenn die Anlagen dem neuesten Stand der Technik und damit höchsten Sicherheitsstandards entsprechen.
- Baugenehmigungen für die neuen Kernkraftwerke müssten bis spätestens 2045 erteilt werden.
- Die grösste Hürde ist zweifelsohne die Pflicht, einen konkreten Plan für die Entsorgung der hochaktiven Abfälle vorzulegen, der den Betrieb einer Entsorgungsanlage ab 2050 umfasst. Die Kommission hat die Anforderungen an die nukleare Entsorgung dahingehend präzisiert, dass die Mitgliedstaaten ergänzend einen dokumentierten Plan vorlegen müssen, wie die Entsorgungsanlage finanziert und die Kontrollen nach deren Verschluss sichergestellt werden sollen. Nach dem heutigen Stand wären wahrscheinlich einzig Finnland und Schweden in der Lage, diese Anforderung zu erfüllen. Der europäische Nuklearverband Foratom hatte dazu vorgeschlagen, die Frist für ein betriebsbereites Lager an den Zeitpunkt des Bedarfs zu knüpfen.

- Aus Schweizer Sicht ist zudem problematisch, dass einzig Investitionen in nukleare Anlagen in EU-Mitgliedstaaten als nachhaltig gelten sollen. Das Nuklearforum Schweiz hat sich als Mitglied von Foratom dafür ausgesprochen, dass dieses Kriterium auf Drittstaaten ausgeweitet werden soll, sofern diese äquivalente Sicherheitsstandards erfüllen.
- Ab 2025 müssen bestehende und neue Kernkraftprojekte unfalltolerante Brennstoffe (Accident-Tolerant Fuels) verwenden, die von der nationalen Regulierungsbehörde zertifiziert und genehmigt wurden. Dazu sagte Yves Desbazeille, Generaldirektor von Foratom: «Unfalltolerante Brennstoffe sind noch in der Testphase und werden daher bis 2025 nicht kommerziell verfügbar sein, sodass es unmöglich ist, dieses Kriterium zu erfüllen.»

Von den Mitgliedstaaten sprachen sich insbesondere Frankreich und zahlreiche osteuropäische Mitgliedstaaten für die Aufnahme der Kernenergie in die Taxonomie aus. Sie betonten vor allem die Notwendigkeit der Kernenergie für die Dekarbonisierung der eigenen Energiesysteme und für die Erreichung der Klimaziele.

Vor allem Deutschland, Luxemburg, Österreich und Spanien wehrten sich vehement gegen die Nachhaltigkeits-einstufung der Kernenergie. Während Österreichs Regierung ankündigte, gegen die Taxonomie-Verordnung insgesamt klagen zu wollen, bezieht sich Deutschlands Kritik allein auf die Kernenergie, nicht aber auf die Regelungen zu Gas. «Für die Bundesregierung bildet der Brennstoff fossiles Gas in hochmodernen und effizienten Gaskraftwerken für einen begrenzten Übergangszeitraum – bis zur Umstellung auf einen auf erneuerbaren Energien beruhenden Energiesektor – eine Brücke, um den schnellen Kohleausstieg zu ermöglichen und dadurch kurzfristig CO₂-Einsparungen zu erreichen und den Hochlauf der erneuerbaren Energien zu begleiten», heisst es in der Stellungnahme der deutschen Bundesregierung. In ihrem endgültigen Entwurf hat die EU-Kommission die Hürden für als nachhaltig geltende Gasinvestitionen weiter im Sinne der Stellungnahme aus Deutschland gesenkt.

Wie geht es weiter?

Das Europäische Parlament und der Rat der EU haben nun vier Monate Zeit, den Rechtsakt zu prüfen und Ein-

wände zu erheben. Diese können den Rechtsakt allerdings nur als Ganzes genehmigen oder zurückweisen. Konkret kann der Rat etwa den Entwurf mit einer verstärkten qualifizierten Mehrheit noch ablehnen. Um eine verstärkte qualifizierte Mehrheit zu erlangen, müssen 20 Mitgliedstaaten, die zusammen mindestens 65% der Bevölkerung der Europäischen Union vertreten, den Rechtsakt ablehnen. Das Europäische Parlament hinge-

gen kann den Rechtsakt mit einer absoluten Mehrheit von 353 Stimmen ablehnen. Die Hürden für eine Ablehnung sind entsprechend hoch. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Taxonomie in dieser Form in Kraft tritt und Kernenergie in Form einer Übergangstechnologie als nachhaltig gilt. (S.D. nach EU-Kommission und Foratom, Medienmitteilungen, 2. Februar 2022)



Laut EU-Finanzkommissarin Mairead McGuinness ist die vorgenommene Taxonomie-Klassifizierung ein Wegweiser für private Investoren. (Foto: Europäische Union, 2022)

Die Kernkraftwerke der Welt 2021

Asien hat im vergangenen Jahr die Tätigkeiten bei der nuklearen Stromproduktion dominiert. China hat fünf Bauprojekte gestartet und insgesamt drei Blöcke in Betrieb genommen. Indien, Pakistan und die Vereinigten Arabischen Emirate (VAE) haben je eine Einheit mit dem Netz synchronisiert. Zudem hat Indien mit dem Bau zweier Einheiten begonnen. Russland und die Türkei haben den offiziellen Bau je einer Einheit lanciert. Ferner wurden zehn Blöcke endgültig stillgelegt, davon drei in Deutschland, die aus politischen Gründen vom Netz mussten. Der zivile Kernkraftwerkspark der Welt umfasste somit Ende 2021 gesamthaft 436 Reaktoren in 33 Ländern. Die installierte Nettoleistung sank auf rund 388'600 MW (2020: 392'600 MW).

Sechs neue Einheiten mit einer Gesamtleistung von knapp 5200 MW gingen 2021 zum ersten Mal ans Netz, drei davon in China und je eine in Indien, Pakistan und in den VAE. In der Reihenfolge der ersten Netzsynchro-nisation waren dies Kakrapar-3 in Indien, Karachi-2 in Pakistan, Tianwan-6 und Hongyanhe-5 in China, Barakah-2 in den VAE und Shidao-Bay-1 in China.

Shidao-Bay-1 in der chinesischen Provinz Shandong ist der weltweit erste High Temperature Gas-Cooled Reactor Pebble-Bed Module (HTR-PM), der am Netz ist (vgl. Beitrag Seite 6). Der Brennstoff des HTR-PM besteht aus beschichteten Urankügelchen, die ihrerseits in rund sechs Zentimeter grossen Grafitkugeln eingesintert sind. Sie enthalten jeweils sieben Gramm Uran, das auf 8,5% angereichert ist. Als Kühlmittel kommt Helium zum Einsatz, das im Reaktor auf 750 °C erhitzt wird. Der thermische Wirkungsgrad liegt bei 40%. Die Demonstrationsanlage ist so aufgebaut, dass zwei Reaktormodule eine Dampfturbine antreiben, womit 200 MW elektrischer Leistung zur Verfügung stehen. Aufgrund dieser Leistung und der modularen Bauweise gilt der HTR-PM als SMR (kleiner, modularer Reaktor). Er ist für 40 Jahre Betriebszeit ausgelegt. China geht davon aus, dass der HTR-PM600, der über sechs Reaktormodule und eine Dampfturbine mit einer Leistung von 650 MW verfügen wird, nach 2030 auf den Markt kommen wird.

Tianwan-6 und Hongyanhe-5 sind beide einheimischer Auslegung. Tianwan-6 ist laut dem von der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) herausgegebenen Power Reactor Information System (Pris) ein Reaktor vom Typ CNP-1000 während Hongyanhe-5 vom Typ

ACPR-1000 ist. Der Kühlkreislauf des CNP-1000 verfügt über eine 3-Loop-Ausführung und wurde von der China National Nuclear Corporation (CNNC) entwickelt. Auch der ACPR-1000 stammt von den französischen Druckwasserreaktoren ab. Alle Rechte liegen da bei der China General Nuclear Power Group (CGN).

Karachi-2 in Pakistan ist der erste Block vom chinesischen Typ Hualong One, der ausserhalb Chinas den Betrieb aufnahm. Der mit 177 Brennelementen bestückte Reaktor wird von zwei Sicherheitshüllen umgeben und ist mit aktiven sowie passiven Sicherheitssystemen ausgestattet. Er hat einen Brennstoffzyklus von 18 Monaten. Seine Laufzeit ist auf 60 Jahre ausgelegt. Karachi-3, der zweite Hualong-One-Block Pakistans, wird voraussichtlich 2022 ans Netz gehen.

In Indien wurde mit Kakrapar-3 der erste Druckschwerwasserreaktor indischer Bauart erstmals mit dem Netz synchronisiert. Es handelt sich um einen Reaktor der dritten Generation, der aus früheren Candu-basierten 220-MW- und 540-MW-Auslegungen hervorgegangen ist. Er kann 700 MW Strom erzeugen. Der PHWR-700 wurde vom Bhabha Atomic Research Centre entwickelt. Nahezu alle Komponenten stellen indische Unternehmen her.

Der Kernkraftwerksblock Barakah-2 in den VAE gab Mitte September zum ersten Mal Strom ans lokale Netz ab. Die Betriebsbewilligung gilt für 60 Jahre. Am Standort Barakah in der Nähe von Ruwais in der Region Al Dhafra in Abu Dhabi sind vier südkoreanische APR-1400 vorge-

USA an der Spitze bezüglich Gesamtleistung

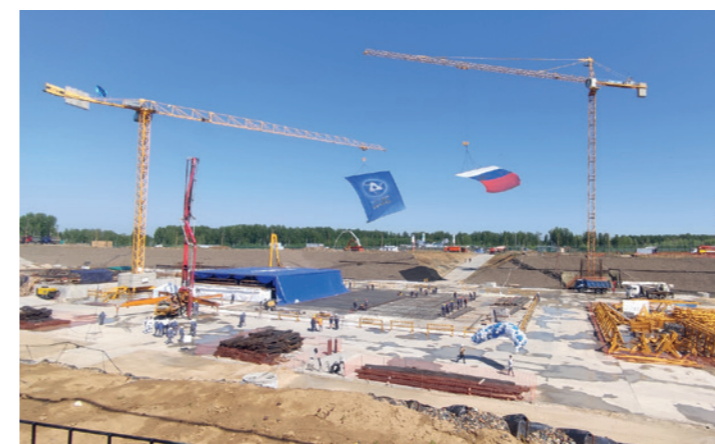
In China standen Ende 2021 insgesamt 52 Kernkraftwerkseinheiten mit einer Gesamtleistung von rund 49'700 MW in Betrieb. China steht damit an dritter Stelle. Einzig Frankreich (56 Einheiten, 61'400 MW) und die USA (93 Einheiten, 95'532 MW) verfügen über einen noch leistungsstärkeren Kernkraftwerkspark.

Neun offizielle Baustarts

2021 wurde für neun Einheiten erster Beton gegossen. Ein Baustart erfolgte in Russland und der Türkei, zwei in Indien und fünf in China.

Der Brest-OD-300 ist eine russische Reaktorauslegung für einen bleigekühlten Schnellen Brüter der Generation IV. Er ist Teil des Pilot Demonstration Energy Complex (PDEC), der neben dem Demonstrationsreaktor eine Fabrik zur Herstellung von Uran-Plutonium-Mononitrid-Brennstoff und eine Wiederaufarbeitungsanlage umfasst. Damit soll der Brennstoffzyklus geschlossen werden. Der erste Beton für Brest-OD-300 wurde am 8. Juni 2021 auf dem Gelände des Siberian Chemical Combine (SCC) gegossen. Der Standort befindet sich in Sewersk in der russischen Region Tomsk in Südwestsibirien.

In der Türkei wurde am 10. März 2021 erster Beton für die dritte Einheit des Kernkraftwerks Akkuyu gegossen. Das Kernkraftwerksprojekt basiert auf einem zwischen-



Die Umsetzung des Projekts «Durchbruch» umfasst nicht nur die Entwicklung innovativer Reaktoren wie der Brest-OD-300, sondern auch die Herstellung von Uran-Plutonium-Mononitrid-Brennstoff. (Foto: Tvel)



Am Standort Barakah in der Nähe von Ruwais in der Region Al Dhafra in Abu Dhabi sind vier südkoreanische APR-1400 vorgesehen. Barakah-1 nahm den kommerziellen Betrieb im April 2021 auf und Barakah-2 erzeugte Mitte September 2021 erstmals Strom. Die Bauarbeiten an Barakah-3 sind unterdessen beendet und Barakah-4 ist zu 91% fertiggestellt. (Foto: Emirates Nuclear Energy Corporation)

staatlichen Abkommen, das Russland und die Türkei 2010 unterzeichneten. Am Standort Akkuyu in der Provinz Mersin an der Mittelmeerküste sind vier WWER-1200-Reaktoren mit einer Gesamtleistung von 4800 MW geplant. Block 1 ist seit April 2018 in Bau und soll 2023 in Betrieb gehen. Block 2 ist seit April 2020 in Bau. Die türkische Nuklearaufsichtsbehörde TEAK erteilte die Baugenehmigung für Akkuyu-4 im Oktober 2021.

Kudankulam-5 und -6 – zwei russische WWER-1000-Einheiten mit nuklearen Dampferzeugersystemen des Typs AES-92 – gehören zur Phase 3 des Kernkraftwerks Kudankulam, auch bekannt als KKNPP. Der Bau begann im Juni und Dezember 2021. Der Standort liegt im Bundesstaat Tamil Nadu an der Südspitze Indiens. Kudankulam-5 und -6 sollen gemäss Nuclear Power Corporation of India Ltd. (NPCIL) in 66 Monaten beziehungsweise 75 Monaten gebaut werden. Damit wären beide Einheiten bis 2027 betriebsbereit. Kudankulam-1 und -2 – Phase 1 – sind seit 2013 und 2016 am Netz. Der Bau von Kudankulam-3 und -4 – Phase 2 – begann



Die Kernkraftwerksbranche schafft neue Arbeitsplätze.
(Foto: Georgia Power Company)

im Juni und im Oktober 2017 und sie sind laut NPCIL zu etwa 50% fertiggestellt.

In China wurden wie bereits in früheren Jahren am meisten Neubauten lanciert. Der chinesische Staatsrat hatte Anfang September 2020 seine Zustimmung für den Bau von zwei Hualong-One-Einheiten am Standort Changjiang an der Nordküste der Inselprovinz Hainan gegeben. Ende März 2021 wurde erster Beton für Changjiang-3 und neun Monate später für Changjiang-4 gegossen. Sie bilden die Phase 2 des Kernkraftwerks. Dort sind als Phase 1 – Changjiang-1 und -2 – zwei CNP-600-Einheiten seit 2015 und 2016 in Betrieb. Sie decken rund ein Drittel des Strombedarfs von Hainan.

Der russische Präsident Wladimir Putin unterzeichnete im Juni 2018 ein Übereinkommen, das die Zusammenarbeit zwischen Russland und China in der Nuklearindustrie in den kommenden Jahrzehnten festlegt. Dazu

gehören der Bau der Kernkraftwerkseinheiten vom fortgeschrittenen russischen Typ WWER-1200 Tianwan-7 und -8 in der chinesischen Provinz Jiangsu sowie von Xudabao-3 und -4 in der Provinz Liaoning. Sie sollen zwischen 2026 und 2028 den Betrieb aufnehmen. Am 19. Mai 2021 wurde der erste Beton für die Kernkraftwerkseinheit Tianwan-7 gegossen und damit die Bauphase offiziell eingeläutet. Xudabao-3 ist seit dem 28. Juli in Bau.

Schliesslich wurde am 30. Dezember der Bau einer weiteren Hualong-One-Einheit – Sanaocun-2 – lanciert. Sanaocun-1 ist bereits seit einem Jahr in Bau. Der Standort befindet sich an der Südküste des Landkreises Cangnan (Wenzhou) in der chinesischen Provinz Zhejiang.

Zehn Stilllegungen

In Deutschland wurden Ende Dezember 2021 drei der sechs verbliebenen Einheiten vorzeitig stillgelegt: Die Druckwasserreaktorblöcke Brokdorf und Grohnde sowie der Siedewasserblock Gundremmingen-C. Im Jahr 2010 hatte die deutsche Regierung von Bundeskanzlerin Angela Merkel beschlossen, die Laufzeit der 17 Kernkraftwerkseinheiten in Deutschland bis spätestens 2036 zu verlängern. Nach dem Erdbeben und dem Tsunami in Japan im März 2011, welche zum Reaktorunfall von Fukushima-Daiichi führten, änderte sie jedoch diese Politik. In den darauffolgenden Monaten entschied die Regierung, bis Ende 2022 ganz aus der Kernenergie auszustiegen. Im Juli 2021 verteidigte Merkel ihren Ausstiegsentscheid, räumte aber ein, dass es dadurch kurzfristig schwieriger werde, die Treibhausgasemissionen im Land zu reduzieren.

Grossbritannien nahm drei AGR-Einheiten vom Netz. Die Zwei-Block-Anlage Dungeness-B (Inbetriebnahme 1983 und 1985) im Südosten der Grafschaft Kent wurde am 7. Juni stillgelegt und Hunterston-B1 (Inbetriebnahme 1976) in North Ayrshire in Schottland am 26. November. Somit sind Ende 2021 in Grossbritannien noch zehn Einheiten (neun AGR und ein PWR) in Betrieb. Zwei EPR-Einheiten sind am Standort Hinkley-Point-C seit 2018 und 2019 in Bau.

Nach 45 Jahren Betrieb wurde der RBMK-1000-Block Kursk-1 in Russland abgeschaltet. «Während seines



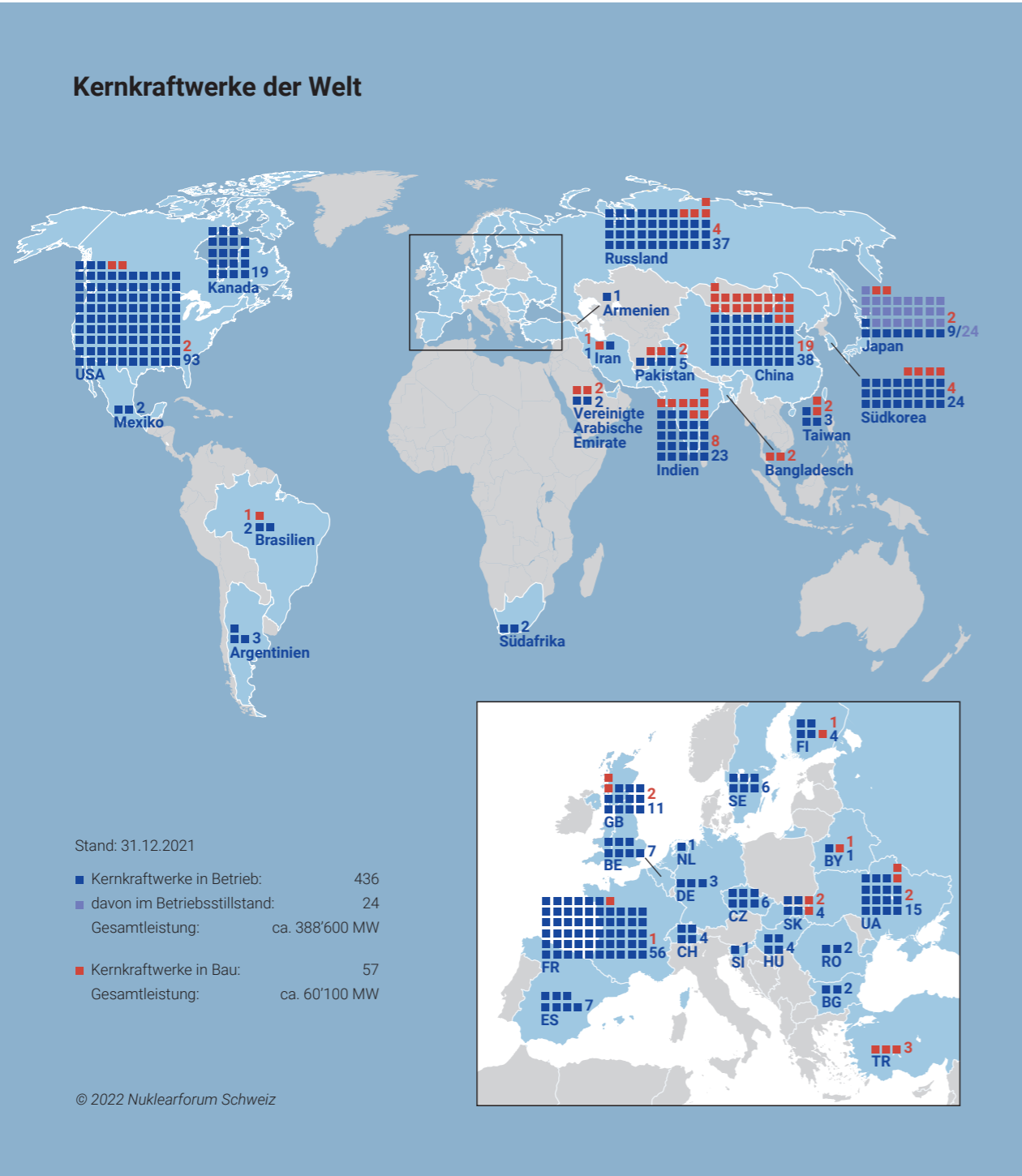
So könnte der Standort Changjiang nach Abschluss der Phasen 1 und 2 aussehen. (Foto: China Huaneng)

Betriebs seit dem 19. Dezember 1976 hat die Kraftwerkseinheit Kursk-1 über 251 Mrd. kWh Strom erzeugt. Das reicht aus, um den Energieverbrauch der Region Kursk für 30 Jahre zu decken, wenn man den derzeitigen Stromverbrauch zugrunde legt», erklärte der stellvertretende Direktor des Kernkraftwerks Alexander Uwakin. Die Anlage habe zuverlässig und sicher gearbeitet. Als Ersatz sind vorerst zwei WWER-TOI – Kursk-II-1 und Kursk-II-2 – mit je 1150 MW in Bau. Es handelt sich dabei um einen standardisierten Kraftwerkstyp, der sowohl in technischer wie auch in wirtschaftlicher Hinsicht optimiert ist. Er baut auf dem AES-2006/V-392M auf.

Pakistan nahm seine älteste Einheit Karachi-1 (PHWR, 90 MW) ausser Betrieb. Sie hatte 1971 den Betrieb aufgenommen.

Auch die USA schalteten eine Einheit endgültig ab. Indian-Point-3 in Buchanan im amerikanischen Bundesstaat New York wurde am 30. April 2021 vorzeitig vom Netz genommen. Darauf hatten sich die Entergy Corporation und der amerikanische Bundesstaat New York im

Januar 2017 geeinigt. Indian-Point-3 lieferte während rund 60 Jahren Strom. Im April 2019 wurde zum letzten Mal der Brennstoff gewechselt. Seither lief die 1041-MW-Einheit ununterbrochen. Diese Betriebsdauer von 751 Tagen ist ein Weltrekord für kommerzielle Leichtwasserreaktoren. Den bisherigen Rekord hatte LaSalle-1 im Jahr 2006 mit 739 Tagen aufgestellt. Die Kernkraftwerke Byron und Dresden in Illinois standen im Jahr 2021 kurz vor der Schliessung. Der Bundesstaat Illinois verabschiedete jedoch eine Gesetzesänderung über saubere Energien. Das Gesetz sieht USD 694 Mio. Unterstützung für den wirtschaftlich angeschlagenen Nuklearsektor vor. Der Kraftwerksbetreiber Exelon Generation kündigte daraufhin an, in den nächsten fünf Jahren über USD 300 Mio. in die beiden Anlagen zu investieren. (M.A.) →



Rainer Meier

Senior Advisor für Reputation Management

Fakten sind Fakten. So gesehen hat sich am 31. Dezember 2021 nichts geändert. Kernkraftwerke sind so grün, nachhaltig und klimafreundlich wie zuvor. Nicht mehr, nicht weniger.

Und trotzdem hat die Einschätzung der EU-Kommission, dass Kernkraftwerke – unter Bedingungen – die Nachhaltigkeitskriterien erfüllen, enorm viel bewegt. Auch in der Schweiz. Die neue Taxonomie hat bei den AKW-Gegnern einen Sturm der Entrüstung ausgelöst.

Sind Kernkraftwerke nachhaltig? Wer nach über 50 Jahren Kernenergie in der Schweiz eine nüchterne Bilanz zieht, erkennt, dass Kernenergie in punkto Nachhaltigkeit hervorragend punktet. Die hohe Energiedichte, der tiefe Ressourcenbedarf beim Bau und Betrieb pro Kilowattstunde, die Schonung der Natur, dort, wo es wegen dem AKW eben keine anderen Kraftwerke braucht. Und das Klima. Allein die zwei Blöcke in der Beznau haben in den letzten 50 Jahren mehr als 300 Mio. Tonnen CO₂ eingespart. Kernkraftwerke sind Klimakraftwerke.

Das sind die Fakten. Ihnen stehen Fragen gegenüber, jene nach den Risiken der Kernenergie und dem Umgang mit den Abfällen. Unsere Wahrnehmung der Kernenergie und ihrer Nachhaltigkeit hängt von der Bewertung dieser Fakten und Fragen ab. Dabei sind wir geprägt von Wissen, von Erfahrungen, Emotionen und ganz stark von Bildern, die wir zum Thema Kernenergie im Kopf haben.

Auch beim Klimaschutz ist die Wahrnehmung von Bildern abhängig. Wir nehmen heute Greta Thunberg und

Die Kraft der Bilder im Kopf

die Klimastreikenden, die Älteren unter uns vielleicht noch Al Gore als die Treiber der Klimabewegung wahr. Weil sie emotionale Bilder geschaffen haben. Aber wurde der Klimaschutz zur Jahrtausendwende erfunden? Natürlich nicht. Als die Schweizer Energiebranche in den 60er-Jahren den vom Wirtschaftswachstum getriebenen Energiehunger des Landes mit fossilen Kraftwerken befriedigen wollte, schritt die Politik ein, mit dem damaligen SP-Bundesrat Willy Spühler an der Spitze. Spühler setzte schliesslich durch, dass – aus Gründen des Klimaschutzes – keine fossilen Kraftwerke gebaut wurden, sondern die beiden Blöcke auf der Insel Beznau.

Linke und grüne Politiker weichen verschämt aus, wenn ich sie auf Twitter mit diesem Fakt konfrontiere. War Willy Spühler ein Träumer? Gar ein von der «Atomlobby» in die Irre Geleiteter? Oder hat er damals einfach ganz nüchtern zwei Fakten erkannt und daraus einen Schluss gezogen? Erstens, dass der Schutz des Klimas ein zentrales Anliegen für uns alle sein muss. Zweitens, dass Kernenergie die einzige Technologie ist, die mit hoher Energiedichte ein grosses Volumen an Strom bei jedem Wetter produzieren kann, ohne dabei CO₂ auszustossen. Wer sich Fakten und Zusammenhänge detaillierter vor Augen führen möchte, der greife zu Bill Gates Buch «Wie wir die Klimakatastrophe verhindern». Es sollte – wie die Brandreden von Greta Thunberg – Pflichtstoff in unseren Schulen sein.

Kernenergie ist in den letzten 50 Jahren immer viel mehr gewesen als nur Stromproduktion. Sie diente ab den 70ern als Projektionsfläche für politischen und gesellschaftlichen Wandel. Gegen das Establishment, für den kleinen Mann, die kleine Frau. Gegen Lobbys und Konzerne, gegen Globalisierung und Gigantismus, für das Vertraute, Dörfliche, Kleinräumige. Gegen Technologiegläubigkeit, für Naturverbundenheit. Gegen das Männliche, für das Weibliche.

Diese Konfliktlinien haben die Wahrnehmung der Kernenergie mehr beeinflusst als jede technische Spezifikation. Beispiel Radioaktivität: Fakt ist, wir sind von ihr umgeben, sie ist Teil der Natur. Die Wahrnehmung ist anders: Böse Technik hat die Radioaktivität geschaffen, die uns alle umzubringen droht. Die Konsequenzen dieser Wahrnehmung: Wir führen unsinnige Grenzwerte ein.

Und wir fürchten uns vor radioaktiven Abfällen, die nur sehr langsam zerfallen, zu Tode. Chemische Abfälle, die gar nicht zerfallen, sind hingegen völlig ok?

Nehmen wir die Gefahren, die von Kernkraftwerken ausgehen, und die sich in den Katastrophen von Tschernobyl und Fukushima materialisiert haben. Die Fakten sind klar, dokumentiert von der Uno und ihren Unterorganisationen. Trotzdem hausiert ein alt-Nationalrat immer noch mit der klar widerlegten Behauptung, Tschernobyl habe «1 Million Menschenleben» gefordert. Und 2021 kursierten beim Jahrestag von Fukushima in grünen Foren die «18'000 Atomtoten». Die Fakten: Kernenergie hat weltweit viel weniger Tote gefordert als etwa die fossile Stromproduktion. Die Risiko-Wahrnehmung orientiert sich aber immer noch an den beiden zitierten Fake-Behauptungen.

Unsere Wahrnehmung wird stark konditioniert durch ikonische Bilder, die wir im Kopf haben. Bis zum März 2011 war das Bild, das stellvertretend für die Gefahren der Kernenergie steht, der Pilz von Hiroshima. Ein explodierendes AKW löst eine Feuer- und Strahlenwalze aus, die ganzen Ländern Tod und Verderben bringt. Verzerrt, aber prägend.

Seit Fukushima hat das weltweit millionenfach gezeigte filmische Dokument des «explodierenden AKW» diese Rolle übernommen. Ach, Sie wenden ein, dabei sei gar kein AKW explodiert, es handle sich um eine Wasserstoff-Verpuffung und das, was man auf dem Video sehe, sei wohl etwas vom Harmloseren, was in Fukushima geschehen sei?

Vergessen Sie's. Die Wahrnehmung hat die Realität längst überholt.

Nichts hat mehr Kraft als die Bilder in unseren Köpfen. Dagegen haben es argumentative Einwände schwer. Weil ikonische Bilder von starken Emotionen begleitet sind. Wir verdichten dabei emotionale Eindrücke zu «Wissen», über das wir dann auch gar nicht mehr diskutieren möchten. Kommt einer mit Fakten, die unser «Wissen» herausfordern, müssen das Fake News sein. Was nicht sein darf, kann nicht sein.

Die Wahrnehmungen der Menschen zur Kernenergie sind entscheidend, ob ein Land diese Technologie künftig anwenden will oder nicht. Wenn man heute angesichts der drohenden Winterstromlücke wieder mehr über die Vorteile von Kernkraftwerken spricht, interessieren mich deshalb weniger die ausgebauten Sicherheitsstandards der aktuellen Generation, die Realitäten also. Ich schaue mir zuerst die Wahrnehmung an. Zweifellos hat sie sich in den letzten Jahren verbessert. Die Klimaproblematik, die hohen Strompreise, die Nachteile und Unsicherheiten, die mit der Energiewende kommen, haben viele Menschen dazu bewogen, einen zweiten Blick auf die Kernenergie zu werfen.

Aber wer jetzt glaubt, die Menschen mit einem Volkshochschul-Referat über Physik für AKW zu gewinnen, der hat nicht verstanden, was die Menschen bewegt. Es sind die Bilder der Risiken, die sie im Kopf haben. Der Schlüssel zur Wahrnehmung der Kernenergie liegt genau hier. Über die Risiken der Kernenergie zu sprechen und darüber, wie man mit ihnen umgehen und sie beherrschen kann. Und die Lösungen aufzuzeigen, die es gibt und die entwickelt werden. Ich glaube, da gibt es noch viel zu tun.

Haben Sie sich bei der Lektüre dieses Beitrags grad geärgert, dass ich den Begriff «AKW» verwende? Das akzeptiere ich, denn er ist nicht ganz korrekt. Aber die Menschen verstehen ihn, und sie gebrauchen ihn. Wer mit Menschen sprechen will, sollte es in der Sprache der Menschen tun.

Rainer Meier (63) war von 2006 bis 2021 Kommunikationsleiter der Axpo. Heute ist er als Senior Advisor für Reputation Management tätig.

Die Aussagen von Gastautoren entsprechen nicht zwingend den Standpunkten des Nuklearforums Schweiz.

Schweiz

Die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) schliesst die **Tiefbohrung in Rheinau** ab. Erste Ergebnisse zeigen, dass das Gestein auch im Bereich der speziell untersuchten Störungen dicht ist.



Die Bohrung Rheinau liefert weitere wichtige Erkenntnisse zur Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers in der Nordschweiz. (Foto: Nagra)

Im Jahr 2021 erzeugen die vier Schweizer Kernkraftwerkseinheiten netto **18,6 Mio. Megawattstunden (MWh) Strom** (Vorjahr: 23,1 Mio. MWh). Grund für den Rückgang sind zeitintensive Modernisierungsprojekte im Kernkraftwerk Leibstadt. Trotzdem haben die Schweizer Kernanlagen im Jahr 2021 rund ein Viertel des konsumierten Schweizer Stroms erzeugt.

Beim Betrieb der Schweizer Kernanlagen werden auch im Jahr 2021 die gesetzlichen **Sicherheitsvorgaben eingehalten**. Zu diesem Schluss kommt das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (Ensi) in einer ersten Bilanz zum vergangenen Aufsichtsjahr.

Die Parteipräsidentenkonferenz der FDP Schweiz verabschiedet eine Resolution zur Stromversorgungssicherheit, die unter anderem die **Abschaffung des Neubauverbots** für Kernkraftwerke in der Schweiz verlangt.

Das Beseitigen des hochaktiven Schutts im japanischen Kernkraftwerk Fukushima-Daiichi ist herausfordernd. Forschende des Paul Scherrer Instituts (PSI) haben Simulationsmaterial an der **Synchrotron Lichtquelle Schweiz (SLS)** untersucht.

Die FDP im Kanton Aargau fordert eine **technologie-offene Planung** der zukünftigen Stromversorgung.



«Wir müssen mit allen Mitteln eine Stromlücke verhindern. Dazu gehört auch, die Laufzeiten der Kernkraftwerke zu verlängern und zwingend alle zur Verfügung stehenden Technologien gleichwertig zu behandeln. Hierzu sind sämtliche Technologieverbote aufzuheben», fordert Sabina Freiermuth, Parteipräsidentin der FDP Aargau. (Foto: Sabina Freiermuth)

Das Genfer Startup-Unternehmen Transmutex entwickelt einen neuen Kernreakortyp, der kostengünstig kohlenstoffarmen Strom liefern soll. Auch die heutigen Probleme der Kernenergie bezüglich Sicherheit, langlebiger Abfälle und Verbreitung von Atomwaffen will das Unternehmen erheblich verbessern. Es setzt auf einen **Thoriumreaktor** kombiniert mit einem Teilchenbeschleuniger.

Das Kernkraftwerk Leibstadt testet einen **Roboter**, der die Mitarbeitenden bei ihrer täglichen Arbeit unterstützen kann. Der ferngesteuerte Vierbeiner absolviert Rundgänge in Bereichen mit Strahlenbelastung oder erstellt Strahlenkarten. →



Strahlenschutz mit Hightech: Der Roboter Spot geht für Menschen in Bereiche mit hoher Dosisleistung. (Foto: Axpo)

International

Die Stromerzeugung aus Kernenergie nimmt im Jahr 2021 weltweit um **3,5%** zu und erreicht fast das Niveau von 2019. Die Internationale Energieagentur (IEA) erwartet, dass sie von 2022 bis 2024 jährlich um 1% steigen wird. Das Wachstum wird primär in der Region Asien-Pazifik stattfinden.

Die **Unionsparteien** wollen nach den Worten von CDU-Chef Friedrich Merz «vorurteilsfrei» über mögliche neue Nutzungsmöglichkeiten der Kernenergie in Deutschland sprechen.



CDU-Chef Friedrich Merz verlangt eine vorurteilsfreie Debatte auch über Kernfusion und innovative Nukleartechnologien. (Foto: Friedrich Merz)

Frankreichs Präsident **Emmanuel Macron** will mindestens sechs neue Kernkraftwerkseinheiten realisieren und den Bau von acht weiteren Blöcken prüfen.

68% der **Bevölkerung Estlands** befürwortet die Nutzung eines Kernkraftwerks der neuen Generation zur Gewährleistung der Stromversorgungssicherheit im Land. Das geht aus den Ergebnissen einer Umfrage des Marktforschungsinstituts Kantar Emor im Auftrag des Start-up-Unternehmens Fermi Energia hervor.

Die Nuklearaufsichtsbehörde erteilt ihre vorläufige Genehmigung zur Verlängerung der Betriebserlaubnis von zwei der sieben Kernkraftwerkseinheiten in **Belgien**. Die Regierung wird aufgefordert, im ersten Quartal 2022 eine endgültige Entscheidung zu diesem Thema zu treffen.

Westinghouse und mehrere polnische Unternehmen unterzeichnen Absichtserklärungen zur Zusammenarbeit. Dabei geht es unter anderem um den möglichen Bau von sechs **AP1000-Einheiten in Polen**.

Die finnische Entsorgungsorganisation Posiva Oy wird 2025 das weltweit erste **geologische Tiefenlager für ausgediente Brennelemente** in Betrieb nehmen. Vorher muss Posiva in einem Probelauf aufzeigen, dass sie die Abfälle im industriellen Betrieb erfolgreich verpacken und in rund 400 Meter Tiefe einlagern kann.



Stollen des finnischen Tiefenlagers Onkalo. Rund 400 Meter unter der Erdoberfläche werden ab 2025 ausgediente Brennelemente dauerhaft und sicher entsorgt. (Foto: Posiva)

Die schwedische Regierung gibt grünes Licht für den **Bau des ersten Tiefenlagers für ausgediente Kernbrennstoffe** in Forsmark und einer **Verkapselungsanlage** in Oskarshamn.



Fotomontage des Tiefenlagers für ausgediente Kernbrennstoffe in Forsmark. Die Gesamtlänge des Tunnelsystems beträgt über 60 Kilometer. Es befindet sich in einer Tiefe von 500 Metern. (Foto: SKB)

Die schwedische Regierung genehmigt am 22. Dezember 2021 das Gesuch der Entsorgungsorganisation Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) auf **Erweiterung des geologischen Tiefenlagers für schwach- und mittelaktive Abfälle** in Forsmark.



Die geplante Erweiterung (in blau) des geologischen Tiefenlagers für schwach- und mittelaktive Abfälle in Forsmark – SFR – umfasst sechs neue Felskavernen. (Foto: SKB)

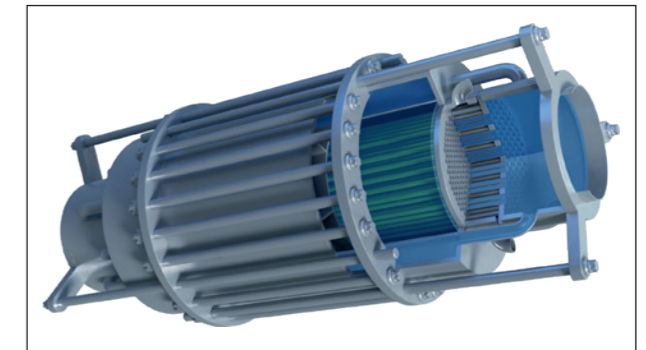
Die Internationale Energieagentur (IEA) fordert **Kanada** auf, den Einsatz von kleinen, modularen Reaktoren für Ende dieses Jahrzehntes zu planen. Das Land solle auf der Dynamik seiner SMR-Roadmap aufbauen.

Die Ultra Safe Nuclear Corporation (USNC) lizenziert eine neuartige Methode für den **3D-Druck** hochwiderstandsfähiger Komponenten für den Einsatz in Kernreaktoren.



Ein neuartiges Verfahren zum 3D-Druck von Komponenten für Kernreaktoren, welches das Oak Ridge National Laboratory des amerikanischen Department of Energy (DOE) entwickelte, ist von der Ultra Safe Nuclear Corporation lizenziert worden. (Foto: Carlos Jones / ORNL, DOE)

Die Firma Dual Fluid beauftragt die Technische Universität Dresden mit einer **Stabilitätsanalyse** ihres Reaktors. An der Professur für Wasserstoff- und Kernenergietechnik wird die Leistungsentfaltung im Reaktor berechnet.



Der Kern des Dual-Fluid-Reaktors im Modell. (Foto: Dual Fluid)

Grossbritannien will die weitere Entwicklung des geplanten neuen Kernkraftwerks **Sizewell C** im englischen Suffolk mit GBP 100 Mio. (CHF 122 Mio.) unterstützen.

Slowenien wird spätestens 2033 aus der Kohleverstromung aussteigen. Dies sieht die nationale Strategie zum Kohleausstieg und zur Umstrukturierung der Kohleregionen vor. →



Künstlerische Darstellung des Standorts Krško. Slowenien will bis 2033 aus der Kohle aussteigen. «Wir wollen nicht noch stärker auf Energieimporte angewiesen sein», sagt Infrastrukturminister Jernej Vrtovec. (Foto: GEN Group)

Wissenschaftler des russischen Botschwar-Instituts entwickeln ein wirksameres Verfahren zur **Dekontaminierung von Laborgeräten**, das die Menge des anfallenden radioaktiven Abfalls und dessen Restradioaktivität verringert.



Wissenschaftler am Botschwar-Institut. (Foto: Tvel)

Die britische Nuklearaufsichtsbehörde Office for Nuclear Regulation (ONR) und die Umweltbehörde Environment Agency (EA) erachten, dass die **britische Auslegung des chinesischen Hualong One** für den Bau in Grossbritannien grundsätzlich geeignet ist; vorgesehen ist der Standort Bradwell.



Darstellung des für Grossbritannien zugelassenen UK HPR1000, der am Standort Bradwell gebaut werden könnte. (Foto: General Nuclear System)

TerraPower Isotopes liefert dem australischen Unternehmen Radiopharm Theranostics das medizinische Radioisotop **Actinium-225** (Ac-225), das in Arzneimittelversuchen für zielgerichtete Alpha-Therapien eingesetzt werden soll.

Die staatliche Atomaufsichtsbehörde der Slowakei lehnt den Einspruch der österreichische Umweltschutzorganisation Global 2000 ab und veröffentlicht am 24. Januar 2022 den Entwurf der Betriebserlaubnis für die Kernkraftwerkseinheit **Mochovce-3**.



Luftaufnahme des Kraftwerks Mochovce in der Slowakei. (Foto: Slovenské elektrárne)

Die Nuclear Power Plants Authority (NPPA) legt der ägyptischen Aufsichtsbehörde ENRRA die Genehmigungsdokumentation für den Bau der Kernkraftwerkseinheiten **EI-Dabaa-3 und -4** vor.



Hilfsgebäude am Standort El Dabaa in Ägypten sind bereits in Bau. (Foto: ENRRA)

79 Wissenschaftler, Akademiker und Unternehmer fordern den Gouverneur von Kalifornien, Gavin Newsom, auf, das Kernkraftwerk **Diablo Canyon** in Betrieb zu halten. In einem offenen Brief betont die Gruppe die Notwendigkeit des CO₂-armen Stroms, den das Kraftwerk in das Netz des Bundesstaats einspeist.

Der erste Beton wird für die zweite von sechs geplanten einheimischen Hualong-One-Einheiten am Standort **Sanaocun** südlich von Shanghai im Osten Chinas gegossen. **Changjiang-4** – ebenfalls vom Typ Hualong One – in der Inselprovinz Hainan vor der Südküste Chinas steht ebenfalls seit Ende 2021 in Bau.



Die Bauarbeiten an der Hualong-One-Einheit Sanaocun-2 beginnen Ende 2021 offiziell. Somit sind in China 16 Einheiten in Bau. (Foto: CGN)

Facharbeiter giessen den ersten Beton für die Kernkraftwerkseinheit **Tianwan-8** in der chinesischen Provinz Jiangsu. Damit ist in China der dritte Block der fortgeschrittenen russischen Generation III+ offiziell in Bau.

Russlands neuester nuklear angetriebener **Eisbrecher Sibir** der LK-60-Klasse ist in Betrieb.



Der nuklearbetriebene Eisbrecher Sibir soll die Nordostpassage das ganze Jahr über freihalten. (Foto: Baltiski Sawod)

Die Hualong-One-Einheit **Fuqing-6** in der chinesischen Provinz Fujian im Südosten des Landes wird am 1. Januar 2022 an das nationale Stromnetz angeschlossen.



Fuqing-6 wird nach der Inbetriebnahme jährlich rund 10 Mio. MWh Strom produzieren. (Foto: CNNC)

Die Inbetriebnahme des EPR **Flamanville-3** in Frankreich verzögert sich erneut. Grund für die Anpassung der Zeit- und Finanzpläne sind laut Électricité de France (EDF) die erschwerten Bedingungen wegen der Corona-Pandemie.



Die erste Brennstoffbeladung von Flamanville-3 wurde auf das 2. Quartal 2023 verschoben. (Foto: EDF / Alexis Morin)

Die **Ukraine** will ihre Uranproduktion erhöhen, um den Brennstoffbedarf ihrer Kernkraftwerke nach 2026 zu decken, teilte die Regierung mit. Im Rahmen eines nationalen Programms sollen in den nächsten fünf Jahren umgerechnet CHF 330 Mio. in den Ausbau der Uranbergbau- und -verarbeitungsanlagen investiert werden. →

Das Kernkraftwerk **Hunterston-B** in North Ayrshire in Schottland geht am 7. Januar 2022, nach der Abschaltung von Hunterston-B2, vollständig ausser Betrieb. Hunterston-B1 ist bereits am 26. November 2021 abgeschaltet worden.



Nach fast 46 Jahren Betrieb ist das Kernkraftwerk Hunterston-B abgeschaltet worden. (Foto: EDF Energy)

Das brasilianische Ministerium für Bergbau und Energie (MME) und das Electric Energy Research Center (Cepel) unterzeichnen eine Kooperationsvereinbarung, um Standorte für den Bau neuer Kernkraftwerke in **Brasilien** zu untersuchen.



Bis 2050 sollen neue Kernkraftwerke in Brasilien gebaut werden. Das Ministerium für Bergbau und Energie stellt für die neue Standortsuche umgerechnet CHF 1,2 Mio. zur Verfügung. (Bild: Standort Angra) (Foto: Eletronuclear)

Framatome und Exelon Generation unterzeichnen eine Absichtserklärung über die Zusammenarbeit bei der Herstellung von **Kobalt-60** (Co-60) für medizinische und industrielle Zwecke.

In **Deutschland** werden Ende 2021 im Rahmen des Atomausstiegs die Druckwasserreaktorblöcke Brokdorf und Grohnde sowie der Siedewasserblock Gundremmingen-C endgültig abgeschaltet.



Deutschland: Gundremmingen-C sowie zwei weitere Kernkraftwerkeinheiten wurden Ende 2021 abgeschaltet. (Foto: RWE)

Ein Pilotversuch mit der **Sterile Insect Technique** in einem Viertel der kubanischen Hauptstadt Havanna verringert 2020 die Zahl der Stechmücken um bis zu 90%. Dies teilt die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) mit. (M.A.)



Die Weibchen der Stechmückenart *Aedes aegypti* sind Überträger des Denguefiebers. Kampagnen zur Sterilisierung von Insekten – wie diejenige in Havanna in Kuba – beruhen auf der Sterilisierung von Männchen zur Kontrolle der Insektenpopulation. (Foto: Gato Armas / Pedro Kourí Tropical Medicine Institute)

[Ausführliche Berichterstattung zu den hier aufgeführten Nachrichten sowie weitere Meldungen zu aktuellen Themen der nationalen und internationalen Kernenergiebranche und -politik finden Sie unter \[www.nuklearforum.ch\]\(http://www.nuklearforum.ch\).](#)

Ist Kernenergie Teil der Klimälösung?



Dr. Gernot Wagner
Klimaökonom

Investitionen in die nächste Generation von Kernkraftwerken könnten der Welt ein wichtiges Instrument zur Reduzierung der Kohlenstoffemissionen an die Hand geben.

Da sich das Weltklima weiter erwärmt, haben sich mehr als 50 Nationen verpflichtet, bis Mitte des Jahrhunderts «Netto-Null»-Treibhausgasemissionen zu erreichen. Das bedeutet, in den kommenden Jahrzehnten radikal geringere Mengen dieser Gase zu produzieren und gleichzeitig das Äquivalent dessen, was wir produzieren aus der Atmosphäre zu entfernen. Kohlekraftwerke sind auf dem Rückzug und saubere Energiequellen wie Sonne und Wind wachsen schnell. In den USA hat die Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen, einschliesslich Wasserkraft und Geothermie, im Jahr 2020 die Kohle übertroffen und liegt nun an zweiter Stelle hinter Gas.

Die bemerkenswerte Ausnahme in diesem kohlenstoffarmen Energieboom ist die Kernenergie, die seit Jahrzehnten ins Stocken geraten ist. Die meisten jetzt in Betrieb befindlichen Reaktoren wurden in den 1970er-Jahren gebaut, und viele davon werden in den USA und Europa abgeschaltet. Weltweit erzeugen 440 Kernkraftwerkseinheiten heute 10% des gesamten Stromverbrauchs, gegenüber mehr als 15% im Jahr 2005. Dies als Folge eines schnellen globalen Ausbaus der Energiekapazität, der die Kernkraft weitgehend hinter sich gelassen hat. Die Kernenergie im Westen wird zusammenbrechen wie die Kohleerzeugung, wenn nicht alternde Reaktoren durch neue Anlagen ersetzt werden.

Kernkraft bietet eine relativ stabile Energiequelle

Trotz langjähriger Bedenken hinsichtlich ihrer Sicherheit kann die Kernenergie eine wichtige Rolle in einer kohlen-

stoffarmen Welt spielen. Eine kürzlich vom Environmental Defense Fund und der Clean Air Task Force in Auftrag gegebenen Studie kam zum Schluss, dass der Bundesstaat Kalifornien, um sein Netto-Null-Versprechen bis 2045 erfüllen zu können, Strom braucht, der nicht nur «sauber», sondern auch «solide» ist – das heisst: «Stromquellen, die nicht vom Wetter abhängen.» Dasselbe gilt für die ganze Welt, und Kernkraft bietet eine relativ stabile Energiequelle.

Kernkraftwerke sind nicht von einer stetigen Versorgung mit Kohle oder Gas abhängig, wo Störungen auf den Rohstoffmärkten zu Spitzen bei den Strompreisen führen können, wie es in diesem Winter in Europa geschehen ist. Kernkraftwerke sind auch nicht vom Wetter abhängig. Sonne und Wind haben ein grosses Potenzial, aber um selbst zuverlässige Energiequellen zu sein, benötigen sie fortschrittliche Batterien und ein Hightech-Netzmanagement, um die schwankende Stromerzeugung mit erwarteten Nachfragespitzen auszugleichen. Dieser Balanceakt ist einfacher und billiger mit der Art von sicherer Energie, die Kernenergie bieten kann.

Der CO₂-Ausstoss der Kernkraft liegt auf Augenhöhe mit Sonne und Wind, insbesondere wenn man den gesamten Lebenszyklus einer Anlage betrachtet. Sowohl Solar- als auch Windenergie produzieren vollständig kohlenstofffreien Strom, sobald sie in Betrieb sind, aber sie erfordern im Voraus eine erhebliche Investition in Kohlenstoff. Solarmodule sind auf Metalle angewiesen, die abgebaut

werden müssen, und die durchschnittliche Windkraftanlage enthält etwa 200 Tonnen Stahl oder mehr. Irgendwann wird es möglich sein, diesen Stahl ohne CO₂-Emissionen herzustellen, aber derzeit noch nicht.

Die grösste ökologische Herausforderung der Kernenergie sind die von ihr produzierten Abfälle, die Tausende oder Zehntausende von Jahren einer sicheren Lagerung bedürfen. Aber davon gibt es nicht viel: Der gesamte seit den 1950er-Jahren in den USA produzierte nukleare Abfall summiert sich auf etwa 85'000 Tonnen Material. Dies im Vergleich zu den zig Milliarden Tonnen Kohlendioxid, die ausgestossen worden wären, wenn dieser Strom stattdessen aus fossilen Brennstoffen gewonnen worden wäre.

Das amerikanische Energieministerium schätzt, dass der gesamte nukleare Abfall der Nation ein einziges Fussball-Feld mit einer Höhe von zehn Yards (neun Meter) bedecken würde. Im Gegensatz dazu wird Kohlendioxid, ein farb- und geruchloses Gas, normalerweise in die Atmosphäre freigesetzt und beeinflusst das Klima des gesamten Globus.

Der physische Fussabdruck eines Kernkraftwerks ist klein im Vergleich zu Staudämmen, Tagebau-Anlagen und Solaranlagen. Kernkraft könnte sogar grosse Treibhausgasvorteile haben im Vergleich zu Bioenergie, die viel Kohlendioxid emittieren kann, um Kraftstoff aus organischem Material herzustellen, und Wasserkraft, die Tonnen von Kohlendioxid durch den Bau grosser Stau-

dämme erzeugt und grosse Mengen von Methan durch die Zersetzung von Pflanzenmaterial in Stauseen freisetzen kann.

Umdenken bei Regierungen weltweit

Angesichts dieser Vorteile haben Regierungen auf der ganzen Welt damit begonnen, Kernenergie mit einem anderen Blick zu betrachten. In den USA beinhaltet das von Präsident Joe Biden im November unterzeichnete Infrastrukturgesetz in Höhe von USD 1,2 Billionen Subventionen von USD 6 Mrd., um bestehende Kernkraftwerke länger am Laufen zu halten. Ausserdem sind USD 2,5 Mrd. für die Forschung und Entwicklung neuer Nukleartechnologien vorgesehen.

In Frankreich wird die Regierung im Rahmen eines massiven Vorstosses zur «Reindustrialisierung» bis 2030 USD 1,13 Mrd. für die Forschung und Entwicklung von Kernenergie ausgeben. Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung einer neuen Generation kleiner, modularer Reaktoren (SMRs), um Teile des bestehenden Reaktorparks zu ersetzen, die rund 70% des Stroms des Landes liefern.

Die neue Koalitionsregierung der Niederlande sieht Kernkraft als «Ergänzung» zu Solar-, Wind- und Erdwärmeenergie im kohlenstoffarmen Energiemix des Landes. Die Niederländer verlängern die Lebensdauer eines Kernkraftwerks, planen den Bau von zwei neuen Reaktoren und stellen USD 566 Mio. für dieses Ziel bereit. Und erst Anfang Februar schlug die Europäische Union in einem umstrittenen Schritt vor, Kernenergie als «grüne» Energiequelle für Finanzierungszwecke einzustufen, «um den Übergang zu einer überwiegend auf erneuerbaren Energien basierenden Zukunft zu erleichtern».

China hingegen beabsichtigt, in den nächsten 15 Jahren mehr als 150 neue Reaktoren zu bauen und wird die USA innerhalb von fünf Jahren als weltgrössten Erzeuger von Kernenergie überholen.

Die Kernenergie ist aber nicht überall die beste Antwort. Island hat kohlenstoffarmen Strom produziert, lange bevor der Klimawandel zum Problem wurde und Solar- und Windenergie billig wurden. Früher importierte das Land

Kohle zur Stromerzeugung, bevor es ab den 1950er-Jahren seine Wasserkraftproduktion ausbaute. Heute bezieht Island drei Viertel seines Stroms aus Wasserkraft und ein Viertel aus Geothermie.

Deutschlands Kehrtwende mit Folgen

Andere Länder haben Kernenergie ausdrücklich abgelehnt, teilweise mit erheblichen wirtschaftlichen und klimatischen Kosten. Österreich bezieht 60% seines Stroms aus Wasserkraftwerken entlang der Donau und in den Alpen und ist gut in das europäische Stromnetz integriert, das seine Stabilität zum Teil aus Kernkraftwerken direkt hinter der Grenze bezieht. Das Land baute seinen einzigen Kernreaktor in den 1970er-Jahren. Aber in einem hart umkämpften Referendum stimmten die Österreicher 1978 gegen die Inbetriebnahme des Kraftwerks. Stattdessen baute Österreich ein Kohlekraftwerk, das über drei Jahrzehnte lang zu einem der grössten Kohlendioxidemittenten des Landes und zu einer Hauptquelle der Luftverschmutzung wurde. Es wurde 2019 auf Gas umgestellt.

Das folgenreichste Beispiel für ein Land, das die Kernenergie in Frage stellt, ist Deutschland, Europas Industriemacht. Vor 2011 machte die Kernkraft etwa 25% der deutschen Stromerzeugung aus. Das Land hatte seit den späten 1980er-Jahren, beeinflusst durch den Reaktorunfall von Tschernobyl in der Sowjetunion im Jahr 1986, keinen neuen Reaktor gebaut, plante jedoch, die meisten seiner Reaktoren bis in die 2030er-Jahre zu betreiben.

Dann kam am 11. März 2011 der Reaktorunfall von Fukushima, ausgelöst durch das stärkste jemals in Japan gemessene Erdbeben. Im Gegensatz zu Tschernobyl, das zu erheblichen Verlusten an Menschenleben und langfristigen Gesundheitsproblemen führte – auch bei Kindern, die im Mutterleib bis nach Schweden radioaktiver Strahlung ausgesetzt waren – führte Fukushima zu keinem Todesfall und «zu keinen gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Einwohner von Fukushima» durch Strahlenbelastung, laut einem Uno-Bericht von 2021. Im Jahr 2018 starb ein ehemaliger Arbeiter der Anlage in Fukushima an Krebs, der möglicherweise mit Strahlung in Verbindung gebracht wurde, aber für die Bewohner der umliegenden Gemeinden, selbst in der Nähe

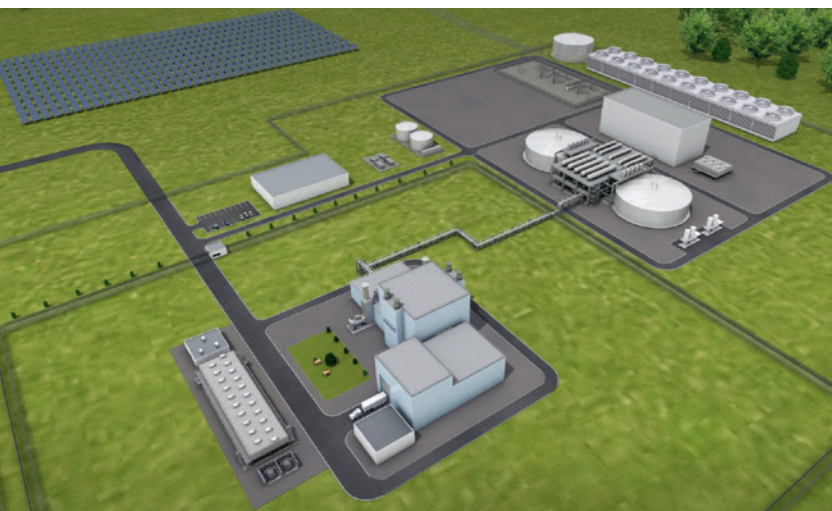


Frankreichs Präsident Emmanuel Macron stellt am 12. Oktober 2021 einen umfangreichen Investitionsplan mit dem Titel «France 2030» vor. «Kernenergie ist eine Chance – für Frankreich, für Europa, für das Klima», betont er. (Foto: Screenshot aus YouTube-Video)

der Reaktoren, wurde keine solche Verbindung hergestellt.

Nach dem Unfall führte die Entscheidung Japans, seine Kernkraftwerke abzuschalten, anstatt Kohle auslaufen zu lassen, zu einem erhöhten Verbrauch fossiler Brennstoffe und einer Luftverschmutzung, die statistisch mit Tausenden von Todesfällen in Verbindung gebracht werden kann. Diese Todesfälle stehen in krassem Gegensatz zur guten Sicherheitsbilanz der Reaktoren im Westen, deren Konstruktionen und Sicherheitsvorschriften sie viel sicherer machen als alte sowjetische Reaktoren wie der von Tschernobyl.

Nach Fukushima bekräftigten die USA ihr zuvor erklärtes Bekenntnis zur Kernenergie, während Deutschland fast die Hälfte seiner nuklearen Kapazität sofort abschaltete und den vollständigen Kernenergieausstieg beschleunigte. Im Jahr 2020 hat Deutschland rund 10% seines Stroms aus Kernenergie bezogen, gegenüber 25% vor Fukushima. Die letzten drei Reaktoren des Landes sollen dieses Jahr abgeschaltet werden. Infolgedessen emittiert Deutschland mehr als 8 Tonnen Kohlendioxid pro Person, verglichen mit weniger als 5 Tonnen in Frankreich mit seinem grossen Kernkraftwerkspark.



Grafische Darstellung des natriumgekühlten Schnellen Reaktors von TerraPower am Standort Kemmerer in Wyoming. Das Demonstrationskraftwerk könnte bis 2028 den Betrieb aufnehmen. (Foto: TerraPower)

Die neue deutsche Bundesregierung hat im Rahmen ihrer ehrgeizigen Energiewende den geplanten Kohleausstieg des Landes von 2038 auf 2030 vorverlegt. Trotzdem hat nach Fukushima der vorzeitige Ausstieg aus der Kernenergie und damit die Abhängigkeit von Kohle in Deutschland zu Hunderten Millionen Tonnen Kohlendioxidverschmutzung und Tausenden von Todesfällen durch lokale Luftverschmutzung geführt.

Die Kernenergie stagniert im Westen auch wegen ihrer hohen Kosten, die teilweise mit Sicherheitsmassnahmen zusammenhängen. Während Sonne und Wind immer billiger werden, wird Kernkraft immer teurer. Die USA bauen derzeit nur zwei neue Reaktoren, beide ausserhalb von Augusta (Georgia) zu Gesamtkosten von über USD 28 Mrd., etwa das Doppelte der ursprünglichen Prognose. Frankreich baut derzeit nur einen Reaktor, der noch in diesem Jahr ans Netz gehen soll. Er kostet USD 21,5 Mrd. statt der ursprünglich veranschlagten USD 3,9 Mrd. und ist ein Jahrzehnt hinter dem Zeitplan zurück. In Grossbritannien befinden sich derzeit zwei Reaktoren mit Gesamtkosten von USD 30 Mrd. im Bau, was die USD 516 Mio. Investition des Landes in die Forschung und Entwicklung kleiner, modularer Reaktoren in den Schatten stellt.

Kernkraft ist mit Risiken verbunden, so aber auch ein sich erwärmender Planet

SMRs und andere neue Technologien sind die grosse Hoffnung der Nuklearindustrie. Ein Forschungsschwerpunkt ist die Nutzung neuer spaltbarer Materialien wie Thorium, das häufiger als Uran vorkommt, weniger Abfall produziert und keine direkten militärischen Anwendungen hat. Andere Technologien zielen darauf ab, vorhandene Nuklearabfälle als Brennstoffquelle zu nutzen. Die Abkehr von leistungsstarken Reaktoren hin zu SMRs könnte zunächst die Kosten pro erzeugter Energieeinheit erhöhen. Aber es würde Finanzierungsmodelle eröffnen, die grossen Reaktoren nicht zur Verfügung stehen, wodurch die Kosten gesenkt werden könnten, da die Reaktoren einer einheitlichen Auslegung folgen, anstatt einzeln entworfen zu werden. Der Bau vieler kleiner Reaktoren ermöglicht auch ein Learning-by-Doing, ein Modell, das China im Inland und im Rahmen des gigantischen Infrastrukturprojekts «Neue Seidenstrasse» im Ausland aktiv verfolgt.

Keine dieser neuen Technologien wird von Beginn an wirtschaftlich konkurrenzfähig sein. Einige der eher experimentellen Technologien, wie Chinas Thoriumreaktoren, könnten sich jedoch auszahlen. TerraPower, ein von Bill Gates gegründetes Unternehmen, arbeitet seit über einem Jahrzehnt an Natriumreaktoren und hat eine Flüssigsalz-Auslegung hinzugefügt, die einen echten Unterschied machen könnte, wenn sie funktioniert. Es geht darum, es zu versuchen. Wie Sonne und Wind könnte Kernenergie mit der richtigen finanziellen Unterstützung die Lernkurve erklimmen und die Kostenkurve nach unten rutschen.

Die staatliche Förderung der Kernenergieforschung ist kein Ersatz für den rasanten Ausbau der Solar- und Windenergie. Neue Nukleartechnologien zu subventionieren ist vergleichbar mit Investitionen in Technologien, die Kohlendioxid in Schornsteinen oder direkt aus der Luft abscheiden: Sie sind kein Ersatz für die Reduzierung der CO₂-Emissionen. Aber beide werden jetzt notwendig sein, um ehrgeizige Netto-Null-Klimaziele zu erreichen. Die Welt kann es sich nicht leisten, die Möglichkeiten neuer Nukleartechnologien zu ignorieren oder bestehende Kernkraftwerke, die sicher arbeiten, vorzeitig abzuschalten.

Kernkraft ist mit Risiken verbunden. So aber auch ein sich erwärmender Planet. Die hohen Kosten der Kernenergie heute sagen wenig darüber aus, wo die Dinge in einigen Jahrzehnten stehen könnten, wenn die Welt auf dem besten Weg sein sollte, ihre Netze allein mit kohlenstoffarmen Technologien zu versorgen. Aus Gründen sowohl der Energieversorgungssicherheit als auch des Klimawandels sollten Regierungen im Westen, in China und darüber hinaus weiterhin in nukleare Forschung und Entwicklung investieren.

Dieser Text erschien am 8. Januar 2022 als Saturday Essay in der Druckausgabe des Wall Street Journal. Er wurde hier leicht gekürzt. Zwischentitel von der Redaktion gesetzt. Nachdruck mit freundlicher Genehmigung.

Dr. Gernot Wagner

Dr. Gernot Wagner lehrt Klimaökonomie an der Columbia Business School (beurlaubt von der New York University). Der gebürtige Österreicher hat in Harvard in Volkswirtschaft und Politikwissenschaft doktriert. Er schreibt die Risky-Climate-Kolumne für Bloomberg Green und ist der Autor von «Geoengineering: The Gamble» (Polity Press, 2021) gwagner.com

Gernot Wagner ist auch Gesprächspartner in unserem Podcast NucTalk: www.nuklearforum.ch/de/podcast/nuctalk-11

Die Aussagen von Gastautoren entsprechen nicht zwingend den Standpunkten des Nuklearforums Schweiz.

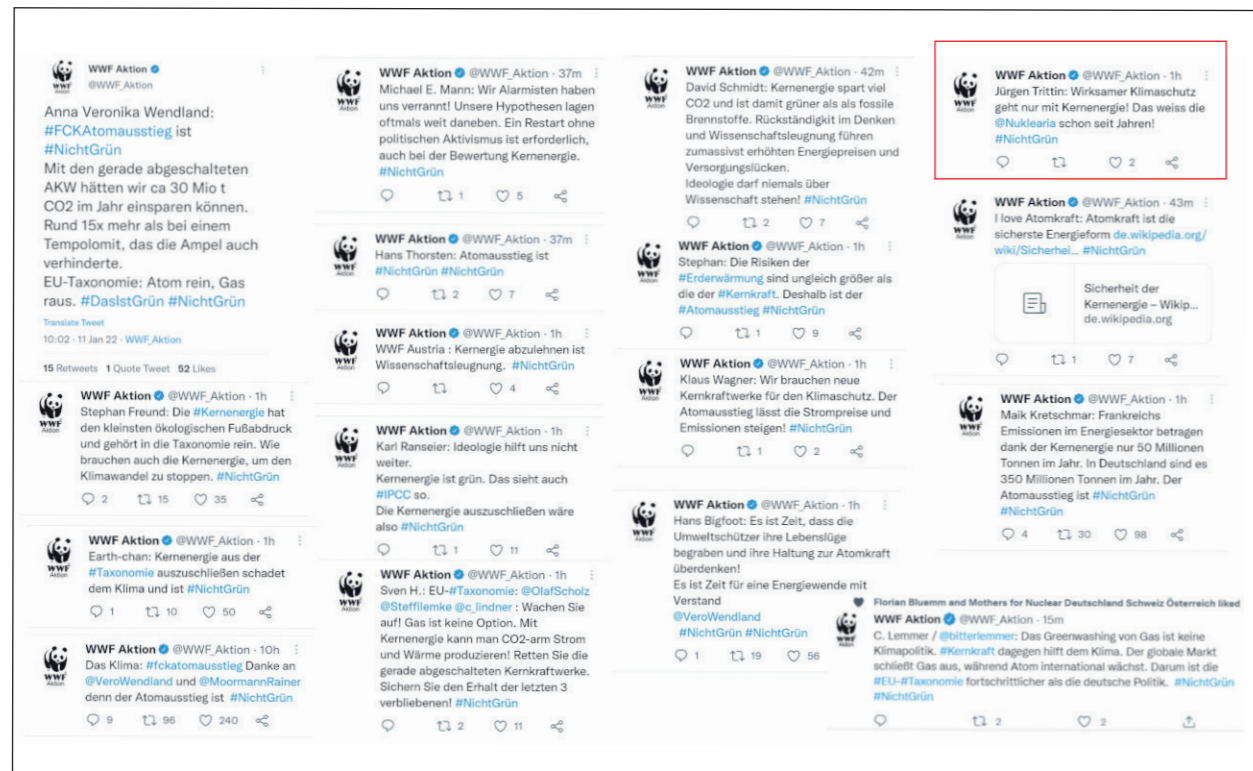
Twitter-Lektion vom WWF – oder für den WWF?

Der WWF (früher World Wildlife Fund, heute World Wide Fund For Nature) ist gegen Kernenergie. Damit könnten wir diese Kolumne eigentlich abschliessen, denn dass eine der grössten Natur- und Umweltschutzorganisationen eine der natur- und umweltfreundlichsten Energiequellen bekämpft, ist an sich schon eine Pointe – um nicht zu sagen ein schlechter Witz.

Aber wir widmen uns heute einer konkreten Aktion des WWF Deutschland. Wie bei praktisch allen sogenannten Umweltschützern Deutschlands und bei ungefähr drei Vierteln der Bundesregierung war auch beim WWF die Entrüstung über die Klassierung der Kernenergie als nachhaltige Investition in der EU-Taxonomie gross. Immerhin wehrten sich die NGOs konsequenterweise auch gegen das grüne Label für Erdgas, ganz im Gegensatz zur grossen Mehrheit der deutschen Politik.

WWF Deutschland hat aus diesem Anlass seine Gefolgschaft zu einem Twitter-Sturm aufgerufen. Dabei konnte

man auf einer Website eigene oder vorgegebene Meldungen mit dem Hashtag #NichtGrün mit seinem Namen versehen, die dann automatisch auf dem Twitter-Profil «WWF Aktion» gepostet wurden. Dummerweise, für den WWF, fanden sich im antinuklear gemeinten Twitter-Gewitter auch zahlreiche pronukleare Aussagen – zumindest so lange, bis die Verantwortlichen die Aktion nach ein paar Stunden beendeten und scheinbar in ihrem Sinne zensierten. Die abgebildeten Tweets haben wir jedenfalls am Folgetag nicht mehr gefunden. Unser Favorit ist übrigens der Beitrag eines gewissen Jürgen Trittin. (M.R.)



So war es nicht gemeint: pronukleare Twitter-Meldungen im Namen des WWF. (Foto: Screenshots Twitter)

Schweizer Start-up Transmutex entwickelt neuen Reaktor auf Thorium-Basis

In den Schweizer Medien wird kontrovers über neue Kernkraftwerke diskutiert. Kritikpunkt sind häufig die radioaktiven Abfälle aus dem Kraftwerksbetrieb, die über Hunderttausende von Jahren strahlen. Am ersten Forums-Treff des Nuklearforums des Jahres 2022 hat Franklin Servan-Schreiber, CEO und Co-Gründer der Genfer Transmutex SA, die Entwicklung eines Reaktorkonzepts zur Umwandlung dieser Abfälle vorgestellt.

Mit den Worten «Die Kernenergie ist in der Schweiz zurück auf der politischen Bühne», eröffnete Hans-Ulrich Bigler, Präsident des Nuklearforums, den ersten Forums-Treff des Jahres 2022 via YouTube-Livestream aus Aarau. Auch die Zeitungen seien voll von Berichten über Kernenergethemen aus der Schweiz und dem Ausland, hielt Bigler fest und ging auf die Renaissance der Kernenergie ein, die Frankreichs Präsident Emmanuel Macron für sein Land im Februar verkündet hat. Unternehmertum und Innovationen in der Kernenergie würden laut Macron einen entscheidenden Beitrag zur Dekarbonisierung leisten.

Mit Franklin Servan-Schreiber, CEO und Co-Gründer von Transmutex, konnte Bigler einen engagierten Genfer Unternehmer als Referenten begrüssen. Transmutex entwickelt ein innovatives und nachhaltiges Reaktorkonzept, das den radioaktiven Abfällen mittels Transmutation auf die Pelle rückt: In seinem Thoriumreaktor sollen auch radioaktive Abfälle als Brennstoff eingesetzt werden. «Die gefährlichsten und langlebigsten Abfallbestandteile werden unter Neutronenbeschuss in kurzlebige Abfälle umgewandelt. Ein viel kleineres Abfallvolumen muss dann nur noch 500 Jahre lang in einem Tiefenlager eingeschlossen werden», so Servan-Schreiber. «Die während der Kernspaltung im Reaktor entstehende Wärme werden wir nutzen und Strom erzeugen.»

Transmutex-Reaktor bietet ein hohes Sicherheitsniveau

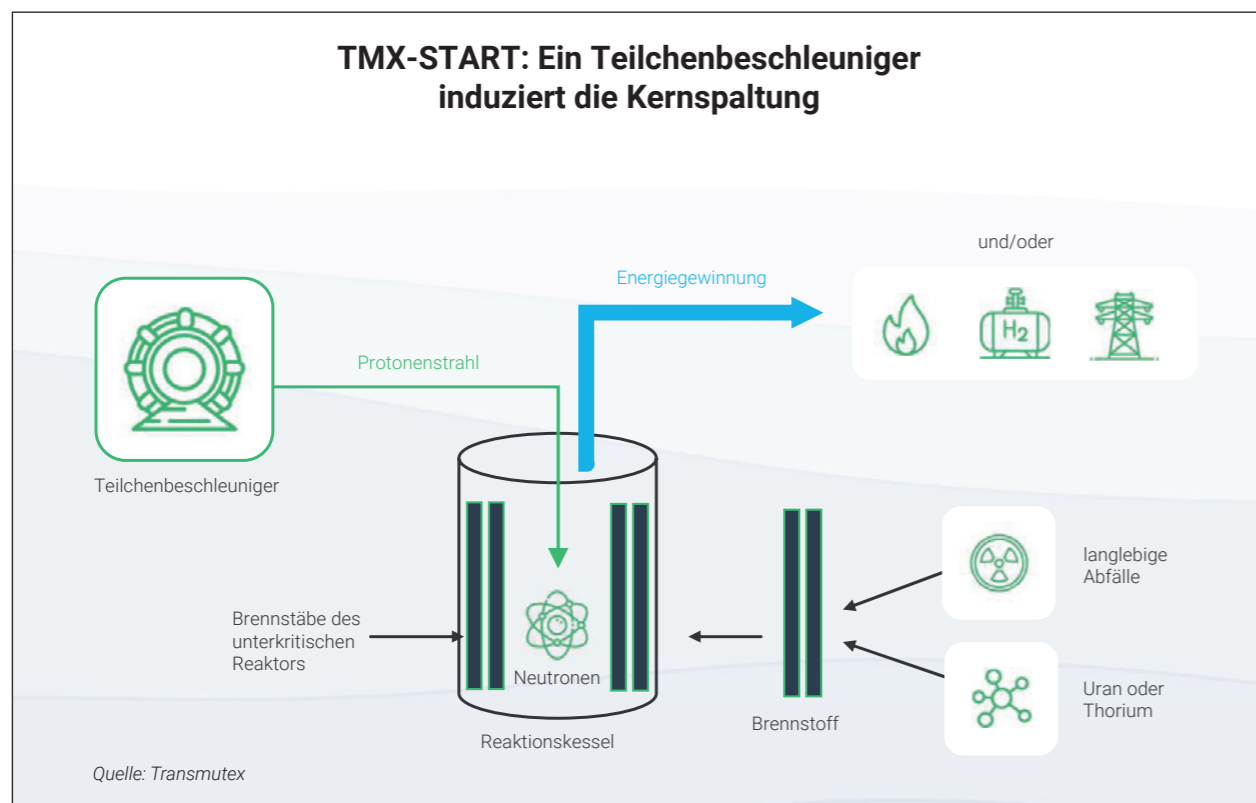
Damit die Abfälle umgewandelt werden können, kombiniert Transmutex im Subcritical Transmutation Accelerated Reactor using Thorium (TMX-START) einen flüssigmetallgekühlten Thoriumreaktor mit einem Teilchenbeschleuniger. Als primärer Brennstoff wird das weltweit reichlicher vorhandene Thorium anstelle von Uran eingesetzt. Der Thorium-Brennstoffkreislauf hat den Vorteil, dass er die Verbreitung von Atomwaffen ver-

hindert. Damit Thorium im unterkritischen Zustand gespalten werden kann, braucht es Neutronen aus einem Teilchenbeschleuniger.

Unterkritisch bedeutet, dass der TMX-START nicht selbstständig in der Lage ist, eine Kettenreaktion aufrechtzuerhalten. Es braucht die Neutronen aus dem Teilchenbeschleuniger, damit in einem Brutprozess aus dem Thorium-232 das Uran-233 entsteht, welches dann unter Freisetzung von Energie gespalten wird. Damit kann der Reaktor laut Servan-Schreiber auch bei der Sicherheit punkten: «Sobald der Neutronenfluss unterbrochen wird, schaltet sich der Reaktor innert zwei Millisekunden ab. Dies ist eine wichtige Eigenschaft, die unseren Reaktor intrinsisch sicher macht.» Durch die Flüssigmetallkühlung könne zudem die Nachzerfallswärme wirkungsvoll abgeführt werden. Einen Reaktorunfall mit Wasserstoffexplosion wie im Kernkraftwerk Fukushima-Daiichi geschehen, wo Wasser als Kühlmittel eingesetzt worden sei, könne es somit nicht geben.

Schon in zehn Jahren soll der Demonstrationsreaktor laufen

«Wir werden in rund zehn Jahren einen funktionierenden Prototypen haben», zeigte sich der CEO zuversichtlich. Damit dies realistisch sei, pflege sein Unternehmen gute Kontakte mit führenden Industrie- und Forschungsunternehmen weltweit. Zudem müsse nicht alles von Grund auf neu erfunden werden. «Die wesentlichen Elemente und Technologien für den Bau des Prototyps sind bereits vorhanden und wir können uns daher auf das Zusammenfügen der Bestandteile und auf die Erprobung fokussieren», erklärte Servan-Schreiber und zählte einige Beispiele zur Zusammenarbeit auf: «Den leistungsfähigen Teilchenbeschleuniger werden wir gemeinsam mit dem Paul Scherrer Institut (PSI) bauen und dabei auch die Expertise des Genfer Cern miteinbeziehen. Auch können



Vereinfachtes Schema der Funktionsweise des Beschleuniger-getriebenen Thoriumreaktors von Transmutex. Neben dem Erzeugen von Wärme, Wasserstoff und Strom können mit dem TMX-START auch radioaktive Abfälle transmutiert werden.

wir die jahrelangen Erfahrungen eines renommierten Reaktorherstellers nutzen, bei dem wir den Thoriumreaktor in Lizenz beziehen werden», so Servan-Schreiber und liess durchblicken, dass Verhandlungen bereits laufen würden.

Stolz verkündete er zudem: «Durch die Zusammenarbeit mit dem tschechischen Nuklearforschungszentrum Centrum výzkumu Řež (CVŘ) haben wir als eines der wenigen Start-ups Zugang zu einem laufenden Reaktor, um Tests durchzuführen.» Bei der Behandlung und Entsorgung der verbleibenden Abfälle aus der Transmutation werde man überdies mit dem amerikanischen Argonne National Laboratory zusammenarbeiten.

Finanzierung muss noch gesichert werden

In seinem Vortrag ging Servan-Schreiber kurz auf die Finanzierung von Clean-Tech-Unternehmen in der Schweiz

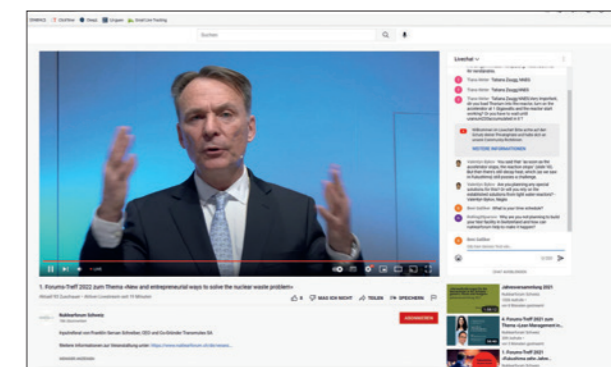
ein und gab sich hoffnungsvoll, dass sein Projekt finanziert werden könne. Noch hat das Genfer Start-up aber erst CHF 8 Mio. zusammen. Für die Entwicklung und den Bau des Prototyps schätzt Transmutex die Kosten auf rund CHF 1,5 Mrd. – eine beachtliche Summe! Dem umtriebigen CEO stehen noch jede Menge Arbeit und viele Gespräche mit Investoren bevor. Die Stromgestehungskosten beim Transmutationsreaktor liegen laut eigenen Angaben bei weniger als CHF 65/MWh und befinden sich in der gleichen Grössenordnung, wie bei konventionellen Kernkraftwerken, die in Betrieb sind.

Hohe Teilnehmerzahl am ersten Forums-Treff

In der Fragerunde wurde Servan-Schreiber auch zu den Auswirkungen des Neubauverbots für Kernkraftwerke in der Schweiz auf Transmutex befragt und wo das Start-up seinen Demonstrationsreaktor bauen wolle. Der CEO gab sich in seiner Antwort diplomatisch und hob hervor,

dass auch unter dem bestehenden Neubauverbot Tests und die nukleare Forschung weiterhin möglich seien. Natürlich würde er sich freuen, möglichst viel in der Schweiz zu machen. Was den Standort des Demonstrationsreaktors betreffe, so arbeite man mit Frankreich zusammen.

«Ich bin erfreut, dass das Interesse an unserem Online-Forums-Treff gross war und fast 100 Leute live auf YouTube zugeschaut haben», zog Geschäftsführer Lukas Aebi am Ende des Anlasses Bilanz und gab einen Ausblick auf weitere spannende Vortragsthemen des Nuklearforums. (B.G.)



Am ersten Forums-Treff 2022 stellte Franklin Servan-Schreiber, CEO und Co-Gründer des Genfer Start-ups Transmutex SA, das Konzept seines Thoriumreaktors vor. (Foto: Screenshot aus YouTube-Livestream)

So wurde die Idee zu Transmutex geboren

Das Start-up Transmutex ist im Raum Genf angesiedelt. Es wurde 2019 vom Nuklearwissenschaftler Federico Carminati, dem ehemaligen Cern-Wissenschaftler Jean-Pierre Revol und dem Unternehmer Franklin Servan-Schreiber gegründet.

Schon vor über 20 Jahren forschte Prof. Carlo Rubbia intensiv an einem Kernreaktor kombiniert mit einem Teilchenbeschleuniger und griff damit eine bestehende amerikanische Idee auf. Rubbia ist Nobelpreisträger für Physik und ehemaliger Direktor der Europäischen Organisation für Kernforschung (Cern). Er wollte die Behandlung der langlebigen hochaktiven Abfälle revolutionieren und führte am Cern die weltweit ersten Experimente mit einem Teilchenbeschleuniger-getriebenen Reaktor durch. Mit dem Experiment «First Energy Amplifier Test (Feat)» gelang 1995 ein Netto-Energiegewinn und mit dem Experiment «Transmutation by Adiabatic Resonance Crossing (Tarc)» konnte er 1997 zeigen, dass sich radioaktive Abfälle transmutieren lassen.

Als junger Cern-Mitarbeiter war der Transmutex-Mitgründer Federico Carminati von 1994 bis 1998 im Team von Carlo Rubbia und entwickelte den Reaktor mit. Auch Jean-Pierre Revol, der zweite Transmutex-Mitgründer, forschte lange Jahre in Rubbias Team. Laut Carminati war zu der Zeit aber weder ein allgemeines Bewusstsein für den Klimawandel vorhanden, noch stand die Suche nach alternativen Lösungen für die zu lagernden Abfälle im Vordergrund. So sei das innovative Reaktor-konzept vorerst in der Schublade gelandet.

Franklin Servan-Schreiber, der CEO und Mitgründer von Transmutex hat sich den Umweltschutz auf seine Fahne geschrieben und kämpfte vor seiner Zeit beim Genfer Start-up gegen die Plastikverschmutzung der Ozeane. 2018 besuchte er das Cern und informierte sich über Möglichkeiten zur kohlenstoffarmen Energieerzeugung, die dem Klimaschutz dienen. Dies lancierte das Abenteuer Transmutex – die damaligen Reaktorpläne wurden wieder aus der Schublade hervorgeholt.

Jahresversammlung 2022

Die Jahresversammlung des Nuklearforums Schweiz findet am Dienstag, **10. Mai** hybrid statt. Sie ist dem Thema «Eine sichere Stromversorgung – Tatsache, Wunsch oder Illusion?» gewidmet. Im Zentrum stehen Inputreferate von Christoph Mäder, Präsident von Economiesuisse, Peter Hettich, Professor für Öffentliches Wirtschaftsrecht mit Berücksichtigung des Bau-, Planungs- und Umweltrechts an der Universität St. Gallen, und Nationalrat Roger Nordmann. Anschliessend folgt eine Podiumsdiskussion.

Weiterbildungskurs des Nuklearforum Schweiz

Thema: Nachwuchsförderung

Donnerstag, **29. November** im Trafo in Baden



Foto: Nuklearforum Schweiz

12. Folge des Podcasts «NucTalk»

Im zwölften NucTalk erzählt Fabio Fracas von Transmutex, was ihn und seine Kollegen motiviert, welche Technologie sie entwickeln und warum sich Entrepreneurship und Weltverbessern nicht ausschliessen. Abonnieren Sie unseren Podcast «NucTalk»!

www.nuklearforum.ch/podcast

Fachverband für Strahlenschutz

53. Jahrestagung

26.–30. September im Bodenseeforum in Konstanz

www.fs-ev.org

Nuklearforum auf Facebook

Interessante Beiträge aus der Welt der Kernenergie, Fakten und Wissen aber auch überraschende Inhalte werden ebenfalls auf Facebook veröffentlicht. Werden Sie Fan oder abonnieren Sie unseren Informationskanal. Das Nuklearforum freut sich auf einen spannenden Dialog.

www.facebook.com/NuklearforumSchweiz



Foto: Nuklearforum Schweiz

14. Grundlagenseminar der SGK

Die Schweizerische Gesellschaft der Kernfachleute (SGK) plant, ihr Grundlagenseminar zur Kernenergie in Magglingen vom **4. bis 6. Oktober 2022** durchzuführen. Zu den behandelten Themenblöcken Physik, Politik und Umwelt, Geschichte, Energie, Brennstoff, Sicherheit, Strahlung und Unfälle gehört auch eine Führung durch das Kernkraftwerk Gösgen.

www.kernfachleute.ch



Foto: SGK