

September 2022

BULLETIN 3



Wohin mit unserem Atommüll?

Seite 9

Entsorgung in Kanada: Einbezug der Bevölkerung

Seite 2

Heuchlerische Reaktionen zur Taxonomie

Seite 23

Faire Energiezukunft in Afrika

Seite 30

Inhalt

Editorial

Die Schweiz benötigt die Kernenergie und entsorgt die Abfälle verantwortungsvoll 1

Im Gespräch mit ...

Entsorgung radioaktiver Abfälle in Kanada 2

Hintergrundinformationen

Nagra schlägt «Nördlich Lägern» für das Jahrhundertprojekt Tiefenlager vor 9

Je «grüner» das Szenario, desto mehr Kernenergie 13

Nuklearmedizin: Herstellung und Anwendung radioaktiver Stoffe 17

Klartext

Taxonomie-Reaktion: scheinheilige Doppelmoral 23

Nukleare News

Schweiz 26

International 27

Kolumne

Gerechte Energiewende in Afrika 30

Hoppla

Rot-grünes Dilemma 35

Pinnwand

36

Die Schweiz benötigt die Kernenergie und entsorgt die Abfälle verantwortungsvoll



Lukas Aebi

Geschäftsführer des
Nuklearforums Schweiz

Die Geschichte der Kernenergie in der Schweiz ist um ein Kapitel reicher: Die Nagra hat bekanntgegeben, an welchem Standort sie das Rahmenbewilligungsgesuch für den Bau eines geologischen Tiefenlagers einreichen möchte. Ein Entscheid, der sicher noch viel zu reden geben wird. Wir liefern dazu im Bulletin zahlreiche Hintergrundinformationen. Zudem warten wir etwa mit einem Interview mit der kanadischen Nuclear Waste Management Organization (NWMO) auf. Eines macht mich bereits jetzt stolz: Die Kerntechnik ist eine der wenigen Branchen, die das Verursacherprinzip lebt und sich entsprechend um die Entsorgung der eigenen Abfälle auch wirklich kümmert. Und für all diejenigen, die das schon jetzt zum Anlass nehmen, um einmal mehr an der Kernenergie herumzunörgeln: Ganz unabhängig von der Kernenergie braucht die Schweiz sowieso ein Tiefenlager um die Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung zu entsorgen. Abfälle, die wir notabene alle mitverursacht haben. Finnland und Schweden machen vor, wie das Bauen eines Tiefenlagers geht. Es ist jetzt an uns, dass sich die Schweiz in die Reihe derjenigen Länder einordnen kann, die fähig sind, ein solches zu bauen. Nehmen wir also auch Verantwortung wahr und gehen wir die Entsorgung gemeinsam an.

Am 6. Juli 2022 hat das Europäische Parlament die Kernenergie als nachhaltige Investition eingestuft. Ein grosser Erfolg für die Kerntechnik und natürlich für das Klima ganz allgemein. Viele Medien haben sich im Anschluss über die angebliche Atomgläubigkeit der Europäischen Institutionen echauffiert, während die ebenfalls als nachhaltig eingestuftem Gaskraftwerke praktisch keine kritische Erwähnung fanden, obwohl diese für das Klima doch viel schädlicher sind. In vielen Redaktionsstuben scheint das Niederschreiben der Kerntechnik offenbar nach wie vor höher im Kurs zu stehen als der dringend nötige Klimaschutz. Für uns Grund genug, den Entscheid aus Brüssel sachlich einzuordnen. Das tun wir etwa mit der Besprechung einer neuen Studie der internationalen Energieagentur (IEA) zur möglichen Rolle der Kernenergie beim Wechsel zu emissionsarmen Energiesystemen. Fakt ist, dass es kein Land auf der Welt geschafft hat, seine Emissionen ohne Kernenergie massgeblich zu senken. Unser nördlicher Nachbar führt uns gerade eindrücklich vor Augen, was passiert, wenn man Kernkraftwerke abstellt. Dann werden einfach wieder fossile Brennstoffe verfeuert, um die nötige Bandenergie zu erzeugen.

Wir hoffen, dass Sie an der aktuellen Ausgabe Gefallen finden. Wir freuen uns natürlich über kritische Anmerkungen, Kommentare und Rückmeldungen der treuen Leserschaft.

Entsorgung radioaktiver Abfälle in Kanada



Lisa Frizzell

Vizepräsidentin für
Kommunikation bei
der kanadischen Nuclear
Waste Management
Organization (NWMO)

Die Entsorgungsorganisation Nuclear Waste Management Organization (NWMO) ist für das Entwerfen und Umsetzen des kanadischen Entsorgungsprogramms zur sicheren und langfristigen Entsorgung ausgedienter Brennelemente verantwortlich. Dieser Plan Kanadas ist auch als Adaptive Phased Management bekannt und sieht vor, dass ausgediente Brennstoffe in einem geologischen Tiefenlager eingeschlossen werden. Das umfassende Standortwahlverfahren basiert auf informierten und willigen Gastgebern, die freiwillig am Projekt teilnehmen.

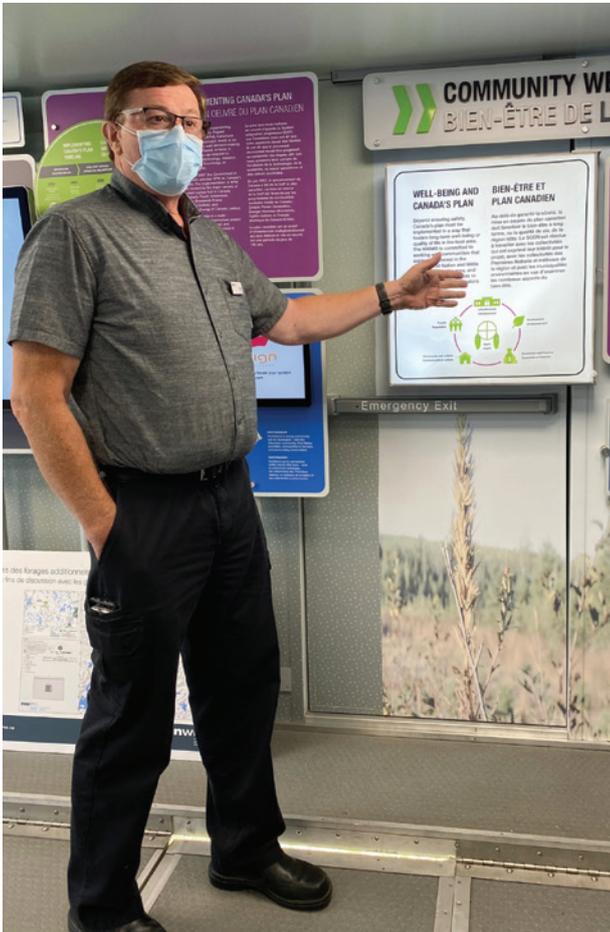
Lisa Frizzell, wie schreitet die Suche nach einem geologischen Tiefenlager in Kanada voran und welche Fortschritte hat die NWMO bereits erzielt?

Im Jahr 2010 startete die NWMO das Standortwahlverfahren für ein geologisches Tiefenlager für ausgediente Brennstoffe in Kanada. Die NWMO hat sich von Anfang an dazu verpflichtet, Kanadas Plan in einem

Gebiet mit informierten und willigen Gastgebern auf eine integrative und respektvolle Weise umzusetzen, die das Wohlergehen der lokalen Bevölkerung jetzt und in Zukunft unterstützt. Die Teilnahme am Verfahren ist freiwillig – wir haben nur in Gebieten gearbeitet, in denen eine Gemeinde proaktiv ihr Interesse bekundet hat, sich über das Projekt zu informieren und ihr Potenzial als Tiefenlagerstandort zu erkunden.

Lisa Frizzell ist Vizepräsidentin für Kommunikation bei der Nuclear Waste Management Organization (NWMO). Bevor sie 2012 zur NWMO kam, arbeitete sie im Bereich Kommunikation für eine Reihe von Unternehmen sowie akademischen und staatlichen Organisationen in Kanada und den USA. Ihr Schwerpunkt liegt auf der strategischen Kommunikation, und sie bringt umfangreiche Erfahrungen als Kommunikationsverantwortliche mit, vor allem im Energiesektor.

Bis 2012 haben 22 Gemeinden offiziell ihr Interesse kundgetan und sind in das Standortwahlverfahren eingetreten. Seitdem haben wir uns in einem schrittweisen Prozess mit immer intensiveren technischen Studien und sozialem Engagement auf zwei potenzielle Standorte eingegrenzt. Der eine ist das Gebiet der Wabigoon Lake Ojibway Nation bei Ignace im Nordwesten Ontarios. Der andere ist das Gebiet der Saugeen Ojibway Nation in South Bruce im Süden Ontarios. Wir sind zuversichtlich, dass an beiden potenziellen Standorten ein sicheres geologisches Tiefenlager gebaut werden kann.



Das mobile Informationszentrum der NWMO machte Halt bei der Saugeen Ojibway Nation in South Bruce. Vertreter der NWMO konnten Informationen weitergeben, Fragen beantworten und den Kommentaren und Bedenken der Öffentlichkeit zuhören. (Foto: NWMO)

Sollen alle ausgedienten Brennelemente in einem einzigen geologischen Tiefenlager entsorgt werden? Was sind die nächsten Meilensteine?

Kanadas Plan für die sichere, langfristige Entsorgung ausgedienter Brennelemente sieht deren zentralen Einschluss und Isolierung in einem einzigen geologischen Tiefenlager vor. Er ist ein generationenübergreifendes, ökologisches Infrastrukturprojekt, das über einen Zeitraum von etwa 175 Jahren umgesetzt werden soll. Zu den wichtigsten Phasen des Tiefenlagerprojekts gehören die Standortwahl, die Lizenzerteilung, der Bau, der Betrieb und eines Tages die Stilllegung.

Wir wählen voraussichtlich nächstes Jahr einen Standort aus (siehe Kasten Seite 8). Der behördliche Entscheidungsprozess wird voraussichtlich etwa zehn Jahre dauern. In den frühen 2030er-Jahren wollen wir mit dem Bau des geologischen Tiefenlagers beginnen, und der Betrieb soll in den frühen 2040er-Jahren aufgenommen werden. Von den oben erwähnten 175 Jahren werden der Transport, die Einlagerungsvorbereitungen und die Einlagerung ausgedienter Brennstoffe in das Tiefenlager voraussichtlich bis zu 50 Jahre in Anspruch nehmen. Die benötigte Zeit hängt davon ab, wie viele ausgediente Brennelemente wir entsorgen müssen. Danach wird das Tiefenlager über einen längeren Zeitraum beobachtet bevor es stillgelegt, verschlossen und in der Nachverschlussphase überwacht wird.

Weshalb ist die Geologie an den beiden potenziellen Standorten Ignace und South Bruce besonders für ein geologisches Tiefenlager geeignet?

Die Sicherheit steht für uns an erster Stelle und hat höchste Priorität. Sie ist die Grundlage für alles, was wir tun – von der Auslegung des Projekts, der Technik und der Umweltforschung bis hin zum Einbeziehen des Wissens der indigenen Bevölkerung und dem Einbinden der lokalen Gemeinschaften.

Die beiden potenziellen Standorte weisen Gemeinsamkeiten auf, welche die Sicherheit des Projekts insgesamt unterstützen. Einige davon sind:

- Das Gestein liegt an beiden Standorten tief genug und besitzt eine ausreichende laterale Ausdehnung, so dass ein genügend grosses Volumen vorhanden ist, um das Tiefenlager sicher von allem zu isolieren, was an der Erdoberfläche passiert – sei es durch menschliche Aktivitäten oder durch natürliche Ereignisse verursacht.
- An beiden Standorten wurde festgestellt, dass im Gestein praktisch kein fließendes Wasser vorhanden ist. Und das wenige Wasser, das es gibt, bewegt sich nur sehr langsam. Es kann 1000 Jahre dauern, bis sich das Wasser auch nur einen Meter durch das Gestein bewegt.
- Die Standorte befinden sich beide in stabilen, seismisch ruhigen Gebieten. Es gibt keine Anzeichen dafür, dass an den Standorten extreme Erosions-

Hebungs- oder Senkungsraten auftreten werden, welche die Geosphäre während den nächsten Millionen Jahren erheblich verändern würden.

- Wir gehen davon aus, dass das Gestein zusammen mit den technischen Barrieren an beiden Standorten in der Lage ist, den ausgedienten Brennstoff langfristig einzuschliessen.
- Es sind keine wirtschaftlich nutzbaren Ressourcen (wie Wasser, Mineralien, Gas, Salz usw.) bekannt. Da es keinen Grund gibt, Grabungen zu machen, ist das Risiko eines menschlichen Eindringens in das Tiefenlager gering.
- Ausserdem ist eine regionale Infrastruktur vorhanden, die den sicheren Bau, Betrieb und Verschluss des Tiefenlagers unterstützt.

Wie ist der Wissensstand an beiden Standorten? Was wurde in über zehn Jahren Forschung alles untersucht und gibt es noch Ungewissheiten?

Nach mehr als einem Jahrzehnt technischer Studien ist das Team von Wissenschaftlern und Ingenieuren der NWMO zuversichtlich, dass ein sicheres geologisches Tiefenlager für ausgediente Brennelemente an einem der beiden potenziellen Standorte errichtet werden kann. Das Vertrauen der NWMO in die Sicherheit beruht auf unserem umfassenden Verständnis mehrerer Schlüsselfaktoren wie:

- der Geologie des Gesteins, in dem das Tiefenlager gebaut wird und angrenzender Schichten;
- dem Zusammenspiel zwischen Gestein und technischen Barrieren, die sicherstellen, dass der ausgediente Brennstoff im Tiefenlager zurückgehalten werden kann;
- dem sicheren Bau, Betrieb und Verschluss des Tiefenlagers;
- dem sicheren Transport des ausgedienten Brennstoffs zum Tiefenlagerstandort;
- dem Erfüllen aller behördlichen Anforderungen an die Anlage;
- dem nur geringen Risiko eines menschlichen Eindringens in das Tiefenlager.

Es muss aber weitere Forschung betrieben werden. Die verbleibenden Ungewissheiten betreffen jedoch weniger die grundsätzliche Eignung des Gesteins für die sichere Aufnahme und Isolierung der ausgedienten



Eine junge Frau informiert sich in der interaktiven Ausstellung des «Learn More Centers» der NWMO bei der Wabigoon Lake Ojibway Nation in Ignace. (Foto: NWMO)

Brennelemente, sondern vielmehr die Entwicklung und Dokumentation eines gründlichen quantitativen Verständnisses des Standorts – die sogenannte Standortcharakterisierung. Bei unserer Planung berücksichtigen wir Ungewissheiten, und es gibt Pläne, um diese Ungewissheiten mit künftigen, detaillierten Arbeiten zur Standortcharakterisierung zu beseitigen. Die Auslegung der ober- und unterirdischen Anlagen wird während der Standortcharakterisierung fortgesetzt.

Vor Kurzem haben unsere technischen Teams nach mehr als acht Jahren Vorbereitungszeit eine erfolgreiche Demonstration unseres technischen Barrierensystems im Massstab 1:1 durchgeführt. Dabei haben wir die Behälter, die für die ausgedienten Brennelemente verwendet werden, in einer Nachbildung in Originalgrösse eines unterirdischen Lagerraums des Tiefenlagers platziert und diesen verfüllt. Die Ergebnisse werden nun eingehend analysiert, um unsere Auslegung des Tiefenlagers weiter zu verbessern.

Was ist die grösste Herausforderung bei der Suche nach einem Tiefenlager in Kanada und gibt es Widerstände gegen ein solches Lager?

In Kanada hatten wir das Glück, dass viele Gemeinden nicht nur ihr Interesse bekundet, sondern sich auch aktiv am Prozess der Standortwahl beteiligt haben. Der Plan Kanadas wird nur in einem Gebiet mit informierten und willigen Gastgebern fortgeführt, in welchem die Gemeinde, die First Nation- und Métis-Gemeinschaften und weitere Beteiligte aus der Region zusammenarbeiten, um ihn umzusetzen. Das heisst, dass die Menschen verstehen müssen, was es bedeutet, ein Projekt wie dieses zu beherbergen, und dass sie es unterstützen, wenn es in ihrer Gegend angesiedelt wird.

Wir haben gelernt, dass es ein langer Weg ist, dieses gemeinsame Verständnis aufzubauen. Das komplexe Projekt ist in Kanada und sogar in Nordamerika einzigartig. Die Menschen brauchen Zeit und müssen sich mit dem Projekt auseinandersetzen, um herauszufinden, ob es für ihre Region geeignet ist. Und es hat uns Zeit und Einsatz gekostet, um zu verstehen, wo das Projekt passen könnte und wie wir seine Umsetzung gestalten können, um das Wohlergehen der Menschen im Tiefenlagerstandortgebiet zu fördern. Durch die Zusammenarbeit

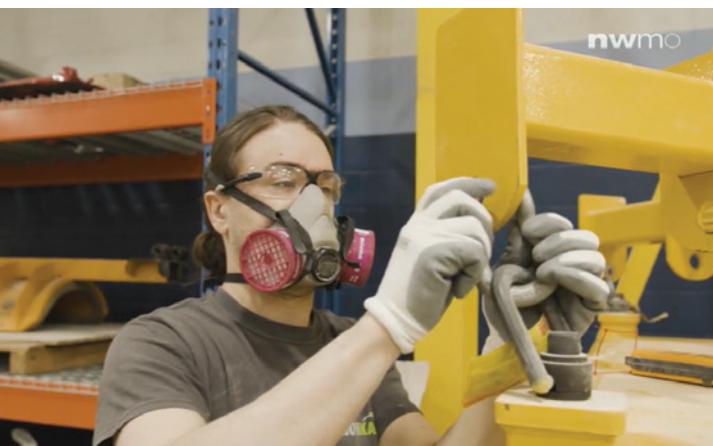
mit den Gemeinschaften haben wir nicht nur ihr Wissen zur Geologie und zur Umwelt kennengelernt, sondern auch etwas über ihre Ziele und Wünsche sowie ihre Fragen und Bedenken erfahren. Wir haben Tausende von Tagen der offenen Tür und Informationssitzungen abgehalten, mit lokalen Verbindungsausschüssen zusammengearbeitet, Fragen gehört und beantwortet und versucht, Bedenken zu verstehen, damit wir sie in unseren Plänen sinnvoll berücksichtigen können.

Um nur ein kleines Beispiel zu nennen: Wir führen derzeit eine Reihe neuer Studien in beiden potenziellen Standortgebieten durch, die auf den Fragen beruhen, die uns die Gemeinschaften gestellt haben und die für sie wichtig sind. Diese Studien liefern den Gemeinschaften am potenziellen Tiefenlagerstandort unschätzbare Informationen für ihre Entscheidungsfindung. Die Ergebnisse decken ein breites Spektrum an Themen ab, darunter Beschäftigungs- und Arbeitskräftewachstum, Chancen für Unternehmen und Infrastrukturverbesserungen.

Was ist der Hintergrund für den ausführlichen Einbezug der indigenen Bevölkerung in den gesamten Prozess?

Der kanadische Plan entstand im Rahmen eines umfassenden Dialogs mit Kanadiern und indigenen Völkern von Küste zu Küste und entspricht den Werten und Prioritäten, die für sie wichtig sind. Insbesondere das Standortauswahlverfahren wurde in einem öffentlichen Dialog entwickelt. Es spiegelt die Ideen, Erfahrungen und besten Ratschläge eines breiten Spektrums von Kanadiern und indigenen Völkern wider. Sie haben sich dazu Gedanken gemacht, was ein offener, transparenter, fairer und integrativer Prozess für die Festlegung eines Standorts beinhalten muss. Das Verfahren wurde so ausgelegt, dass der gewählte Standort Sicherheit und Schutz bieten wird, aber nur mit informierten und willigen Gastgebern fortgeführt wird.

Die Interessen, Bedenken und Ratschläge der indigenen Völker waren von Anfang an ein wesentlicher Bestandteil der Arbeit der NWMO. Dieser Einbezug begann mit unserer Suche nach Möglichkeiten für die langfristige Entsorgung der ausgedienten Brennelemente Kanadas und hat sich bei allen Aspekten der Umsetzung des Plans fortgesetzt. Wir haben uns verpflichtet, indigenes



Beim Einlagerungsversuch im Massstab 1:1 hat die NWMO die Machbarkeit des sicheren Einschlusses ausgedienter Brennelemente durch ein System technischer Barrieren erfolgreich getestet und aufgezeigt. (Foto: NWMO)

Wissen in unsere Arbeit einzubeziehen, und wir haben festgestellt, dass unsere Arbeit dadurch besser wird. Wir sind bestrebt, indigenes Wissen im Standortauswahlverfahren auf die technische Sicherheit sowie auf Aspekte des Wohlergehens der Gemeinschaft anzuwenden. So veranstalten wir beispielsweise regelmässig Workshops zu indigenem Wissen und westlicher Wissenschaft, in denen wir versuchen, diese Wissensformen in einen Dialog zu bringen und die Erkenntnisse aus beiden Bereichen miteinander zu verknüpfen – beispielsweise beim Schutz des Wassers und der Umwelt oder bei der Vertiefung unseres Verständnisses für das Gestein und die Geologie in den Standortgebieten.

Durch unsere Arbeit mit den First Nation- und Métis-Gemeinschaften versuchen wir zu verstehen, wie das Projekt für jede in Frage kommende Region von Nutzen sein könnte. Dabei respektieren wir die vertraglichen Rechte der indigenen Bevölkerung und anerkennen sie als Rahmen für das Zusammenleben und die gemeinsame Nutzung des Landes, das traditionell von indigenen Völkern bewohnt wird. Diese Verträge bilden die Grundlage für eine weitere Zusammenarbeit und Partnerschaft, während wir gemeinsam die Versöhnung vorantreiben. Dabei geht es um das Aufbauen und Aufrechterhalten einer von gegenseitigem Respekt geprägten Beziehung zwischen indigenen und nicht-indigenen Völkern in Kanada. Damit dies geschehen kann, muss man sich der Vergangenheit bewusst sein, den angerichteten Schaden anerkennen, für die Ursachen sühnen und Massnahmen zur Verhaltensänderung ergreifen.

Während unsere Arbeit an Kanadas Plan voranschreitet, setzen wir unser Engagement für den Aufbau respektvoller Beziehungen und die Anerkennung der Weltanschauungen indigener Völker in unserer gesamten Organisation fort. Die NWMO ist fest entschlossen, indigenes Wissen in all unsere Arbeit einfließen zu lassen und den Weg der Versöhnung Schulter an Schulter mit der indigenen Bevölkerung zu gehen. Im Rahmen der Versöhnung erkennt die NWMO historisches Unrecht in der Vergangenheit Kanadas an und ist daran, eine bessere Zukunft zu schaffen, indem die Herausforderungen der Gegenwart angegangen werden. Erkenntnisse der indigenen Wissensbewahrer zu Management und Governance bilden die Grundlage unserer Geschäftstätigkeit.

Wie erklären Sie sich, dass so viele Gemeinden Interesse an einem geologischen Tiefenlager bekundet haben?

Wir sind sehr stolz darauf, dass sich 22 Gemeinden im Namen der Kanadier gemeldet haben, um sich über ihr Potenzial als Standort für dieses nationale Umweltinfrastrukturprojekt zu informieren.

Wir können zwar nicht für die Gemeinden sprechen, die sich gemeldet haben, aber wir haben gehört, dass sie eine Reihe von Gründen für ihr Interesse angegeben haben. Viele waren der Meinung, dass sie etwas zu bieten hätten – etwa Fähigkeiten und Kenntnisse im Bergbau oder im nuklearen Brennstoffkreislauf. Viele sahen die Möglichkeit, Ziele zu erreichen, die mit den Bestrebungen ihrer Gemeinden übereinstimmen, beispielsweise die Erhöhung der lokalen Beschäftigungsmöglichkeiten für junge Menschen. Viele äusserten auch ein starkes Gefühl der Dankbarkeit, dass wir alle von der Elektrizität profitieren können und sind der Meinung, dass wir es künftigen Generationen schuldig sind, die entstandenen ausgedienten Brennelemente nicht als Last weiterzu-



Nach einer zweijährigen Pause aufgrund der Covid-19-Pandemie, hat sich der Ältesten- und Jugendrat der NWMO das erste Mal wieder versammelt. (Foto: NWMO)

geben, mit der sie umgehen müssen. Dies stimmt mit Rückmeldungen überein, die wir bereits während der Entwicklung des Plans erhielten.

Darüber hinaus ist der kanadische Plan ein nationales, ökologisches Infrastrukturprojekt, das positive, dauerhafte Vorteile bringen wird, die zum langfristigen Wohlergehen des Standortes beitragen und die Sicherheit für künftige Generationen gewährleisten. Wir haben uns von Anfang an dazu verpflichtet, das Projekt so umzusetzen, dass es zum Wohlbefinden der Menschen vor Ort beiträgt, so wie die Gemeinden es selbst definieren. Und die langen Zeiträume, die mit dem Projekt verbunden sind, ermöglichen es uns, mit den Gemeinden zusammenzuarbeiten, um es so zu planen, dass es direkt mit ihren eigenen Zielen und Bestrebungen übereinstimmt.

Wie geht die NWMO mit einem Projekt um, das über Generationen hinweg geplant wird und dessen Fertigstellung viele der jetzigen Arbeitskräfte nicht mehr erleben werden?

Kanadas Plan ist ein Mehrgenerationenprojekt, das sich über viele Jahrzehnte erstreckt. Kanadier und indigene Völker sind sich einig, dass es in unserer Verantwortung liegt, jetzt zu handeln, um sicherzustellen, dass künftige Generationen nicht mit Abfällen konfrontiert werden, die wir verursacht haben. Aus diesem Grund haben die NWMO und die Gemeinschaften in den Standortgebieten den Einbezug der Jugend als Priorität für die Mitwirkung, das Lernen und den Aufbau von Kapazitäten festgelegt. Die jungen Menschen von heute werden die Führungskräfte, Arbeiter, Kleinunternehmer, Landwirte und Nachbarn sein, die morgen den Wohlstand und das Wohlergehen ihrer Gemeinschaften fördern.

Bei der Umsetzung des kanadischen Plans werden wir auch weiterhin mit Menschen aller Generationen zusammenarbeiten. So ist beispielsweise unser Ältesten- und Jugendrat (Council of Elders and Youth), ein beratendes Gremium, das den Wissensaustausch zwischen den Generationen fördert.

Ein wesentlicher Grundsatz des kanadischen Plans ist der Einbezug neuen Wissens. Wir passen die Pläne an den technischen Fortschritt, an international bewährte Praktiken, an die laufenden Beiträge aus der Öffentlich-

keit, an das indigene Wissen, an Veränderungen in der öffentlichen Politik und an die sich wandelnden gesellschaftlichen Erwartungen und Werte an.

Wer finanziert die Tiefenlager in Kanada?

Die Entwicklung und Umsetzung von Kanadas langfristigen Plan für ausgediente Brennelemente wird von den Eigentümern der Abfälle finanziert: Ontario Power Generation, New Brunswick Power, Hydro-Québec und Atomic Energy of Canada Limited. Laut Nuclear Fuel Waste Act (NFWA) ist jedes dieser vier Unternehmen verpflichtet, unabhängig verwaltete Treuhandfonds einzurichten, um sicherzustellen, dass die Mittel zur Finanzierung dieses Projekts bei Bedarf zur Verfügung stehen. Auch die NWMO wurde 2002 von diesen Unternehmen als Non-profit-Organisation gegründet.

Die Verbraucher, die vom Nuklearstrom profitieren haben, werden somit im Laufe der Zeit auch die langfristige Entsorgung der dabei entstandenen Abfälle finanzieren. Die Kosten für die langfristige Entsorgung der ausgedienten Brennelemente machen aber nur einen relativ kleinen Teil der Stromkosten aus. Die Kosten des kanadischen Plans für ausgediente Brennelemente belaufen sich auf etwa 0,1 kanadische Cent pro erzeugter Kilowattstunde Strom. (B.G.) →

Weiterführende Informationen auf Englisch:



Website zum Plan Kanadas



Website zu indigenem Wissen



YouTube-Video zum Einlagerungsversuch

Hintergrundinformationen zum Wirtgestein und zu schwach- und mittelaktiven Abfällen

Wirtgestein: Im sogenannten Wirtgestein wird dereinst der untertägige Teil des geologischen Tiefenlagers mit den Lagerkammern und Lagerstollen gebaut. Im Gebiet bei Ignace, im Nordwesten Ontarios, untersucht die NWMO granitisches Gestein des kanadischen Schildes innerhalb des nördlichen Teils des Revell Batholiths aus dem Archaikum. Im Gebiet South Bruce, im Süden Ontarios, untersucht die NWMO als Wirtgestein die Cobourg-Formation, einen tonhaltigen Kalkstein aus dem Ordovizium.

Schwach- und mittelaktive Abfälle: Die schwach- und mittelaktiven Abfälle Kanadas werden gegenwärtig in sicheren Zwischenlagern gelagert. Auch bei diesen Abfällen gilt das Verursacherprinzip und sind die Abfallbesitzer – also die Kernkraftwerke, die die Abfälle erzeugen – rechenschaftspflichtig und verantwortlich. Die kanadische Regierung entwickelt derzeit ihre bestehende Strategie zur Abfallentsorgung weiter. Ein Strategiepapier dazu ist in der öffentlichen Vernehmlassung und soll noch 2022 finalisiert werden.

Zusätzlich beauftragte der kanadische Minister für natürliche Ressourcen 2021 die NWMO mit der Entwicklung einer integrierten Strategie für radioaktive Abfälle (Integrated Strategy for Radioactive Waste, ISRW). Dies soll sicherstellen, dass für alle radioaktiven Abfälle Kanadas, einschliesslich schwach- und mittelaktiver Abfälle, langfristige Entsorgungslösungen gefunden und diese nach international bestens bewährten Verfahren entsorgt werden. Dabei kann die NWMO ihre über 20-jährige Erfahrung aus dem kanadischen Plan für ausgediente Brennelemente einbringen. Im Gegensatz zur Schweiz besitzt Kanada auch Abfälle aus dem Uranbergbau.

Standortentscheid erst 2024

Nach Abschluss des Interviews gab die NWMO bekannt, dass sie aufgrund der Auswirkungen der Covid-19-Pandemie damit rechnen, erst gegen Ende 2024 einen bevorzugten Standort für ein geologisches Tiefenlager zu bestimmen. Zuvor war sie davon ausgegangen, den Entscheid im nächsten Jahr zu treffen.

«Bei einem Projekt von derartiger Komplexität und generationsübergreifendem Umfang haben wir immer damit gerechnet, dass wir uns im Laufe des Prozesses anpassen müssen, wobei wir auch die langfristige Perspektive im Auge behalten», erklärte die NWMO. «Wie bei allen Organisationen und Unternehmen haben sich mehrere Lockdowns auf Provinzebene im Zusammenhang mit der Covid-19-Pandemie auch auf unsere Arbeit ausgewirkt.»

Lise Morton, NWMO-Vizepräsidentin für die Standortauswahl, sagte, dass die Organisation einen erheblichen Zeitverlust für persönliches Engagement und Interaktion hinnehmen musste, insbesondere in Gemeinden, die ihr Potenzial zur Aufnahme des Projekts erkunden. «Diese kleine Anpassung des Zeitplans gibt uns und den potenziellen Gastgebergemeinden zusätzliche Zeit, um neue Informationen zu prüfen und zu verarbeiten, während sie überlegen, ob die Aufnahme des Projekts mit ihren Visionen und Prioritäten übereinstimmt.»

Die NWMO geht davon aus, dass diese Verschiebung den Gesamtablauf für den kanadischen Plan nicht beeinträchtigen wird. Mit dem Bau des Endlagers werde nach wie vor im Jahr 2033 begonnen, und der Betrieb des Endlagers soll in den frühen 2040er-Jahren aufgenommen werden.

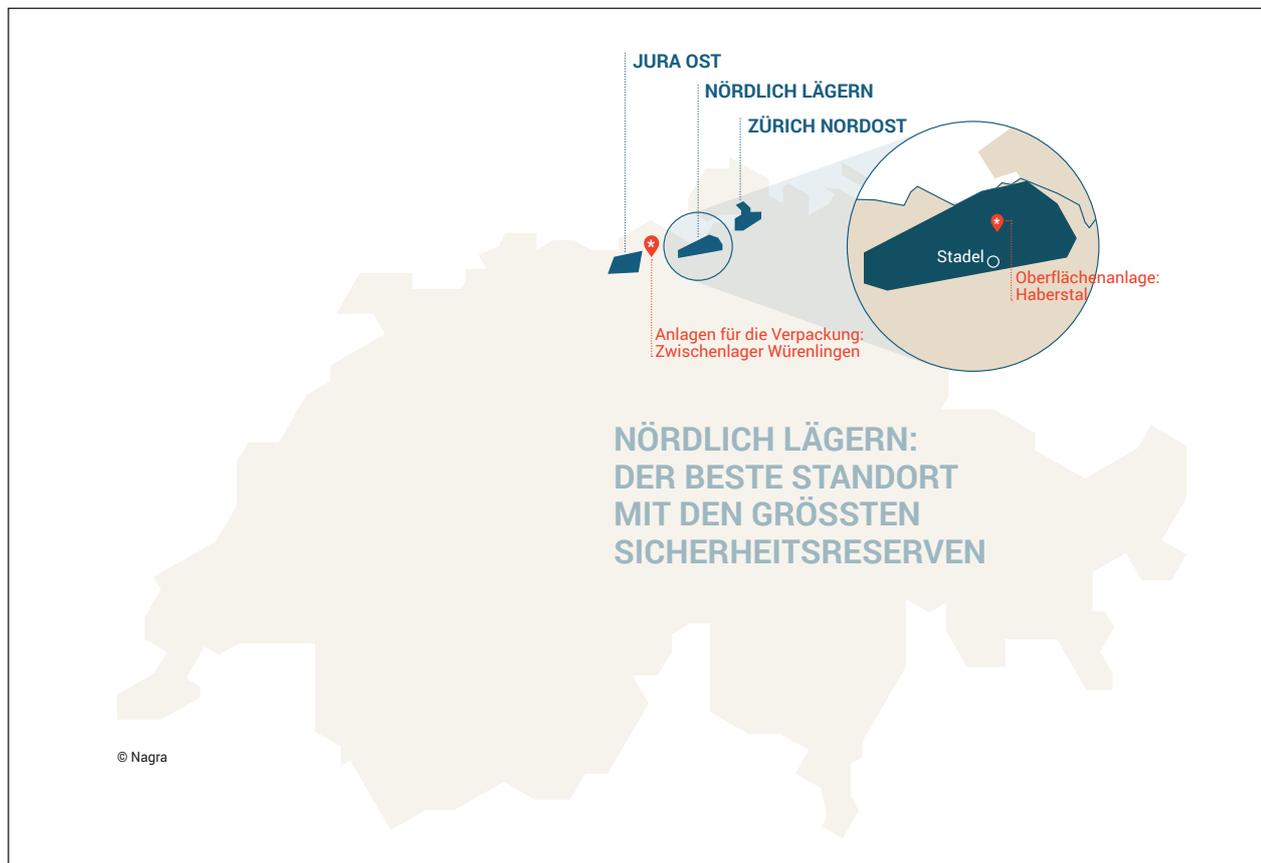
Nagra schlägt «Nördlich Lägern» für das Jahrhundertprojekt Tiefenlager vor

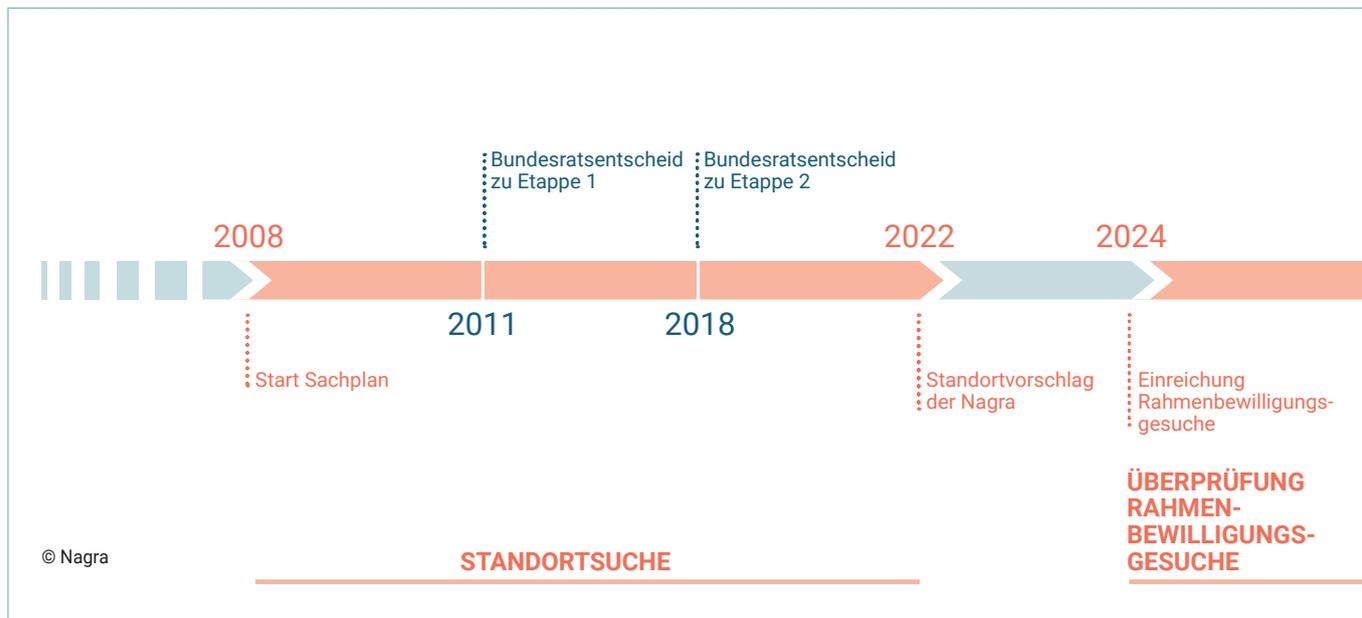
Um künftige Generationen zu schützen, müssen die radioaktiven Abfälle der Schweiz in einem Tiefenlager eingeschlossen werden. Am sichersten geht das in der Region Nördlich Lägern. Zu diesem Schluss kommt die Nagra nach jahrzehntelanger Forschung.

Es ist ein wichtiger Meilenstein im Jahrhundertprojekt Tiefenlager: Die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) schlägt Nördlich Lägern als Standort für ein Tiefenlager vor. Der Vorschlag beruht auf jahrzehntelanger Forschung.

Das Gebiet Nördlich Lägern liegt im Zürcher Unterland in der Nordschweiz. Der Eingang zum Tiefenlager, die sogenannte Oberflächenanlage, soll im Gebiet «Haberstal» in der Zürcher Gemeinde Stadel gebaut werden. Die Verpackungsanlagen plant die Nagra beim bereits bestehenden Zwischenlager Würenlingen.

«Das Herzstück des Tiefenlagers ist der Opalinuston», sagt Nagra-CEO Matthias Braun. Darin wird das Lager gebaut. In diesem Gestein sei 175 Millionen Jahre lang «nichts passiert». Gerade weil dieses Gestein so langweilig ist, erlaubt es gemäss Braun «eine solide und zuverlässige Prognose für die nächste Million Jahre». In allen drei Standortgebieten habe es eine Schicht dieses Opalinustons, die sich für den Bau eines Tiefenlagers eignen würde. Die grössten Sicherheitsreserven gebe es aber in Nördlich Lägern. →





Langer Weg: Bis zur Einlagerung der radioaktiven Abfälle vergehen noch viele Jahre. Verschlössen wird das Lager nach aktueller Planung etwa im Jahr 2125.

Zwei Kantone, ein Jahrhundertprojekt

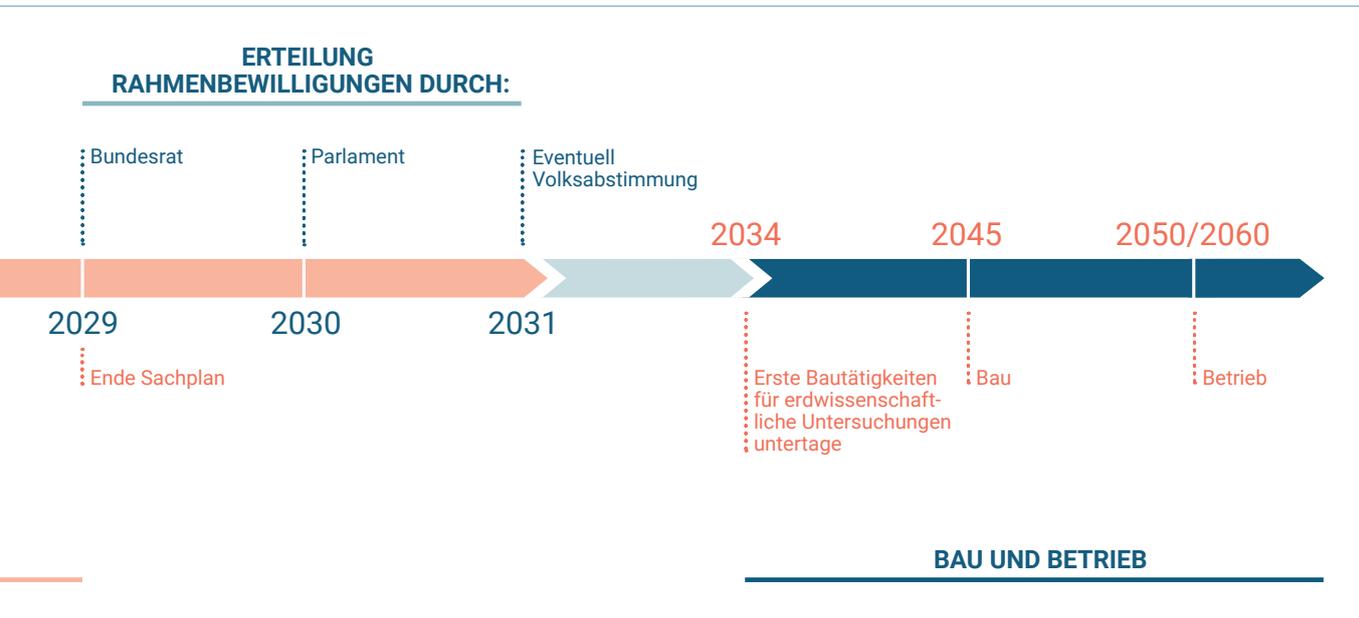
Drei Gründe sprechen für die Region Nördlich Lägern als Standortgebiet für das geologische Tiefenlager: Erstens schliesst das Gestein im Untergrund den radioaktiven Abfall dort am besten ein. Die Nagra hat in den Poren des Gesteins Spuren von Millionen Jahre altem Wasser nachgewiesen. Die Qualität des Gesteins ist dort am höchsten.

Zweitens schliesst das Gestein in Nördlich Lägern den Abfall nicht nur heute, sondern auch in ferner Zukunft am besten ein, weil es sehr stabil ist. Die Erdoberfläche wird sich verändern, der Untergrund nicht: Das Gestein mit dem Tiefenlager darin bleibt in dieser Region am besten geschützt. Und drittens: In Nördlich Lägern ist der geeignete Bereich im Gestein am grössten. Deshalb ist die Nagra beim Bau des Lagers dort am flexibelsten.

Zusätzlich zum Lager in der Tiefe, braucht es auch Bauten an der Oberfläche. Die sogenannte Oberflächenanlage wird beim «Haberstal» in der Zürcher Gemeinde Stadel gebaut. Von dort aus betreibt die Nagra das

Tiefenlager. Sie hat den Standort gemeinsam mit dem Kanton Zürich bestimmt. Weiter werden Anlagen benötigt, in denen die Abfälle in Endlagerbehälter verpackt werden können. Diese Verpackungsanlagen werden nicht in der unmittelbaren Region des Tiefenlagers gebaut, sondern beim Zwischenlager im aargauischen Würenlingen. Matthias Braun: «Hier profitieren wir von Synergien. Das Zwiilag ist bereits eine nukleare Anlage, hier gibt es geschultes Personal und wir können von der Erfahrung und bestehenden Bauten profitieren.» Dadurch verringere sich auch der ökologische Fussabdruck. Es muss weniger Wald gerodet und weniger Erde bewegt werden.

Theoretisch könnte der radioaktive Abfall auch in zwei separaten Lagern in zwei verschiedenen Gebieten entsorgt werden: in einem Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle und einem für hochaktive Abfälle. Die Nagra schlägt aber ein sogenanntes Kombilager vor, das für alle Arten von radioaktivem Abfall geeignet ist. Ein Kombilager ist genauso sicher wie zwei Einzellager, gleichzeitig aber ökologischer und ökonomischer.



Schrittweise zum sichersten Standort

Der Standortwahl ging ein langer wissenschaftlicher Prozess voraus. Das Tiefenlager als Lösung ist in der Schweiz im Gesetz verankert. Der Bund leitet die Standortsuche, die auf einer «weissen Karte» der Schweiz begann. Oberste Prämisse dabei: Die Sicherheit von Mensch und Umwelt. Die Nagra betrachtete in der ganzen Schweiz geeignete Gebiete und Gesteinsschichten und identifizierte sechs mögliche Standortgebiete. In der zweiten Etappe wurden diese miteinander verglichen. Zudem wurden Standortareale für die Lage der Oberflächenanlagen definiert. Am Ende dieser Etappe, im Jahr 2018, legte der Bundesrat fest, dass die Nagra drei Gebiete vertieft untersuchen soll: Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost.

In Etappe 3 wurden die drei übriggebliebenen Standortgebiete vertieft untersucht. Mit neun Tiefbohrungen sammelte die Nagra in den letzten drei Jahren Unmengen an wissenschaftlichen Daten. Total wurden 10'000 Meter Gestein erbohrt, über 6000 Meter Bohrkerne an die Oberfläche geholt und 4000 Gesteinsproben im



So könnten die Verpackungsanlagen dereinst aussehen. (Foto: Nagra)

Labor untersucht. Der Untergrund wurde zudem mit einer Art Ultraschall (sogenannte 3D-Seismik) durchleuchtet. Basierend auf diesen Resultaten gelangte die Nagra zu ihrem heutigen Standortvorschlag.

«Damalige Einschätzung war zu vorsichtig»

Mit der Wahl von Nördlich Lägern hat die Nagra auch eine eigene Einschätzung revidiert. In Etappe 2 des Sachplans hatte sie 2015 noch argumentiert, Nördlich Lägern eigne sich bautechnisch weniger gut als die beiden anderen Regionen. Die Nagra wurde vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (Ensi) aufgefordert, mehr Untersuchungen dazu durchzuführen. Das habe die Nagra mit grossem Aufwand gemacht und die Datengrundlage fundamental verbessert, so Matthias Braun. Dazu kommt, dass sich die Nagra mittlerweile für eine Ausbaumethode mit vorgefertigten Betonelementen – sogenannten Tübbing – entschieden hat, die den Stollenbau in grösseren Tiefen vereinfacht.

Brauns Fazit: «Aus heutiger Sicht war die damalige Einschätzung zu vorsichtig.» Daraus habe man gelernt. Einerseits, dass konstruktive Kritik das Projekt besser mache und andererseits, dass die Rollenteilung im Sachplanverfahren sehr gut funktioniere.

Zehn, hundert und eine Million Jahre

Nach Jahrzehnten der Forschung steht die Schweiz jetzt vor einer neuen Phase in diesem Jahrhundertprojekt. In den nächsten zwei Jahren wird die Nagra das Rahmenbewilligungsgesuch ausarbeiten und beim Bund einreichen. Anschliessend prüfen Behörden und Expertengremien das Gesuch, bevor der Bundesrat und die Bundesversammlung darüber entscheiden. Kommt ein Referendum zustande, hat das Schweizer Stimmvolk das letzte Wort. Das wäre etwa im Jahr 2031 der Fall.

Circa 2034 könnten die ersten Bauarbeiten beginnen. Ab 2050 beginnt der Einlagerungsbetrieb der schwach- und mittelaktiven Abfälle, 2060 derjenige der hochaktiven Abfälle. Der Verschluss des Lagers ist nach heutiger Planung im Jahr 2125 vorgesehen.

Die Behörden verpflichten die Nagra, bis zum Verschluss des Lagers in gut hundert Jahren weiter zu forschen und den technologischen Fortschritt zu berücksichtigen.

Zwar sind die Experten und Expertinnen der Nagra überzeugt, dass sie bereits heute ein sicheres Tiefenlager bauen könnten. Das Lager kann dennoch stetig optimiert werden: Die Technologie entwickelt sich ständig weiter. Dieser Fortschritt soll dem Tiefenlager zugutekommen. Beispielsweise bleibt der Endlagerbehälter für die hochaktiven Abfälle mindestens 10'000 Jahre dicht – und damit zehnmal so lange wie gesetzlich gefordert. Dennoch forschen Spezialistinnen und Spezialisten der Nagra daran, wie sich dieser Behälter weiter optimieren lässt.

Es sind eindrückliche zeitliche Dimensionen. Der Betrachtungszeitraum für das Tiefenlager wurde auf eine Million Jahre festgelegt. Doch wenn man nur schon bedenkt, dass die Nagra seit fünfzig Jahren forscht und das Lager in rund hundert Jahren verschlossen werden soll, wird klar, dass es ein Generationenprojekt ist. Eines, bei dem nun ein wichtiger Meilenstein erreicht wurde.

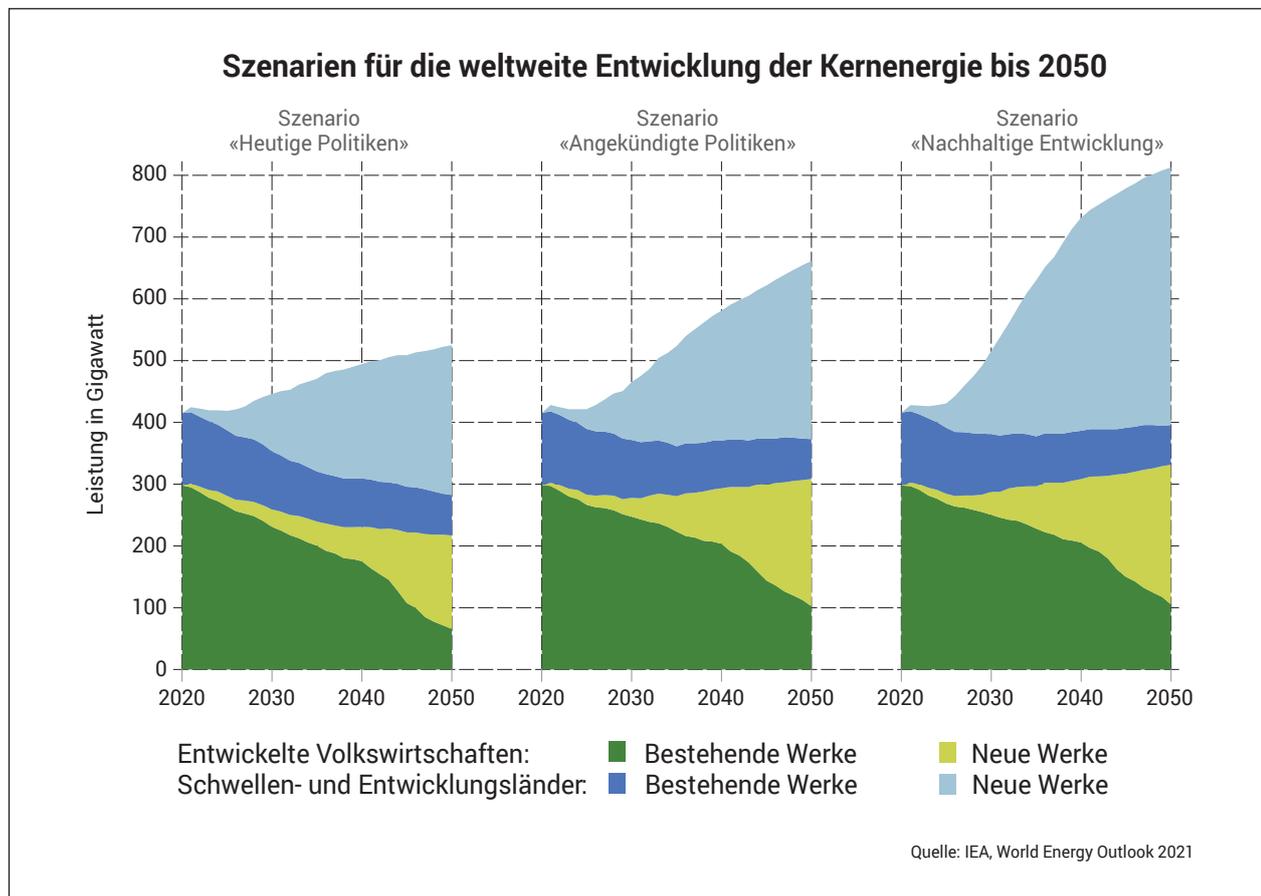
Wichtig bleibt auch in Zukunft die Zusammenarbeit mit der Gesellschaft, insbesondere mit den Menschen in der betroffenen Standortregion Nördlich Lägern. Es werden in den kommenden Jahren noch viele Fragen auftauchen, die es zu beantworten gibt. Ängste und Kritik müssen ernst genommen werden. Dessen ist sich Nagra-CEO Matthias Braun bewusst: «Wir von unserer Seite werden das Projekt mit Motivation und Energie, aber auch mit dem nötigen Respekt weiter vorantreiben.» (Adrian Uhlmann, Nagra)

Je «grüner» das Szenario, desto mehr Kernenergie

Elektrifizierung und Energieeffizienz spielen für die Internationale Energieagentur (IEA) der OECD die zentrale Rolle bei der Reduktion des CO₂-Ausstosses. Einem beschleunigten weltweiten Ausbau der Kernenergie stehen derzeit vor allem politische Widerstände im Weg. Anders beim forcierten Ausbau der Stromproduktion aus Wind und Sonne, beim dazu nötigen Ausbau der Stromnetze und bei der massiven Zunahme der E-Mobilität: Hier dürften die nötigen Rohstoffe knapp und damit teuer werden. Diese Warnung findet sich im «World Energy Outlook 2021» der IEA.

Die Szenarien der IEA gehen davon aus, dass die Weltbevölkerung bis 2050 um weitere zwei Milliarden Menschen zunehmen dürfte. Vor diesem Hintergrund werden im «World Energy Outlook 2021» folgende drei Szenarien betrachtet:

- «Nachhaltige Entwicklung»: Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2050.
- «Angekündigte Politiken»: Alle weltweit angekündigten Verpflichtungen werden vollständig umgesetzt. Bis 2050 gehen die CO₂-Emissionen um 40% zurück, wobei der Stromsektor mit Abstand den grössten Beitrag liefert.
- «Heutige Politiken»: Die Länder setzen ihre bereits beschlossenen Politiken fort. Die laufend erreichten Ein-



sparungen an CO₂ werden durch zusätzliche Emissionen wettgemacht, so dass insgesamt keine Reduktion eintritt.

Die IEA hält dazu fest, dass die 2020/21 von den Covid-Massnahmen ausgelöste Rezession das heutige Energiesystem belastet und scharfe Preissteigerungen bei Erdgas, Kohle und Elektrizität ausgelöst hat. Trotz aller Fortschritte bei den Erneuerbaren und der E-Mobilität wurde 2021 vermehrt auf Kohle und Erdöl zurückgegriffen, was in diesem Jahr zur zweithöchsten je verzeichneten Zunahme der CO₂-Emissionen auf Rekordniveau führte. Zudem stehen laut IEA weltweit rund 140 GW an neuen Kohlekraftwerken in Bau und über 400 GW befinden sich in unterschiedlichen Planungsphasen.

Kernenergie: Verdoppelung bis 2050?

Der Ausbau der Kernenergie in den kommenden zehn Jahren ist grösstenteils durch die derzeit in Bau stehenden Anlagen (rund 60 GW) vorgegeben, schreibt die IEA. Da jedoch China, Südkorea und Russland neue Werke in fünf bis sieben Jahren bauen können, könnten bis 2030 weitere Projekte fertiggestellt werden. Nach 2030 gibt es konkrete Pläne für über 100 GW. Das «grünste» Szenario «Nachhaltige Entwicklung» rechnet mit der Verdoppelung der heutigen nuklearen Produktionskapazität bis 2050, insbesondere durch einen massiven Ausbau in den Schwellen- und Entwicklungsländern (siehe Grafik S. 13).

Grössere Unsicherheit herrscht bei den Ausserbetriebnahmen bestehender Reaktoren. Zahlreiche ältere Anlagen in Europa, Japan und den USA benötigen für die Verlängerung ihrer Betriebsdauer zusätzliche Investitionen oder sogar neue Zulassungen. Im Szenario «Heutige Politiken» werden bis 2030 über 65 GW (23%) des heutigen Reaktorparks vom Netz genommen. Im Szenario «Angekündigte Politiken» werden 50 GW vom Netz genommen.

Welle von Ausserbetriebnahmen nach 2030

Trotz des Umstands, dass Betriebsverlängerungen in den kommenden zehn Jahren eine kosteneffiziente emissionsarme Stromproduktion ermöglichen, könnten in den entwickelten Volkswirtschaften die Stilllegungen sogar noch schneller erfolgen. Bis 2040 werden dort rund zwei Drittel der Kernkraftwerke länger als 50 Jahre

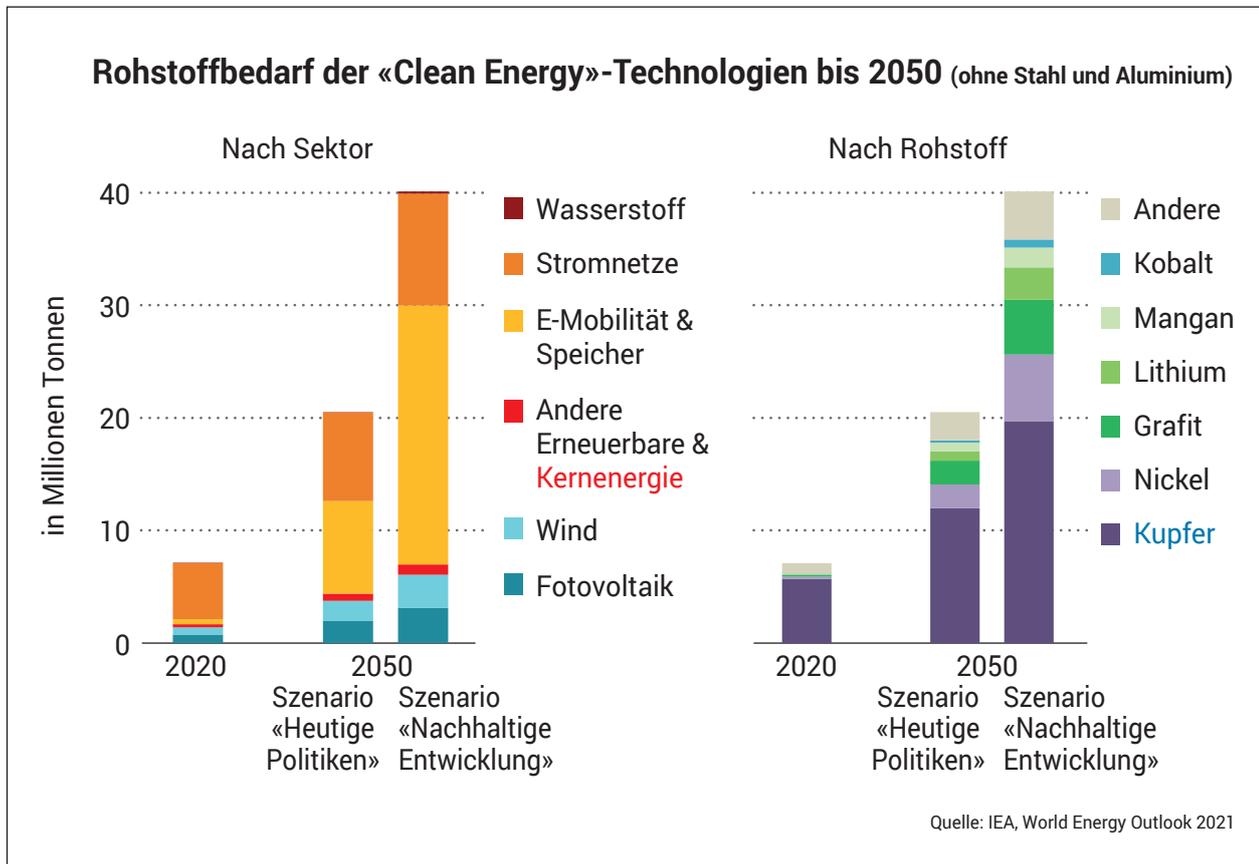
in Betrieb stehen, was in allen Szenarien zu einer Welle von Ausserbetriebnahmen führen dürfte. Zwar könnten innovative Technologien wie die kleinen, modularen Reaktoren (SMR) kürzere Bewilligungs- und Bauzeiten ermöglichen und neue Anwendungen eröffnen, wie etwa die Wärmeabgabe- oder die Wasserstoffproduktion. Dazu müssten allerdings die entsprechenden Anstrengungen beschleunigt werden, findet die IEA.

Rohstoffrisiken bei den neuen Erneuerbaren

In allen Szenarien vergrössert sich der weltweite Produktionsanteil des volatilen Wind- und Solarstroms von heute unter 10% auf 40 bis 70%, und regional noch mehr. Das Szenario «Nachhaltige Entwicklung» rechnet unter anderem mit 240 Mio. Fotovoltaik-Systemen auf Dächern und 1,6 Mrd. Elektrofahrzeugen. Das dafür erforderliche flexible Energiesystem benötigt robuste Stromnetze, Batteriespeicher und jederzeit abrufbare Stromquellen wie Wasserkraft, Geothermie oder Biomasse sowie SMR oder Kraftwerke, die mit Ammoniak (NH₃) bzw. Wasserstoff befeuert werden.

Windkraft und Fotovoltaik gelten oft als unabhängig von der Geopolitik. Die IEA weist aber darauf hin, dass die Lieferketten durchaus Risiken enthalten. Besondere Sorgen bereitet die Versorgung mit mineralischen Rohstoffen wie Kobalt, Mangan, Lithium, Nickel und Kupfer. Fotovoltaik, Windparks und Elektrofahrzeuge benötigen deutlich mehr solcher Rohstoffe als ihre fossil betriebenen Gegenstücke. Der erwünschte schnelle Ausbau dieser Technologien wird daher die Nachfrage massiv steigern. Zudem sind die Lagerstätten heute auf viel weniger Länder verteilt als beispielsweise beim Erdöl und Erdgas.

Im Szenario «Heutige Politiken» steigt der Bedarf an kritischen Rohstoffen bis 2050 um fast das Dreifache. Im nachhaltigen Szenario ist sogar die sechsfache Menge nötig (siehe Grafik S. 15). Bei der Betrachtung der einzelnen Sektoren zeigt sich, dass beispielsweise E-Fahrzeuge und Batterien künftig bis zu 50 Mal mehr kritische Ressourcen benötigen als heute und der Ausbau der Stromnetze die Nachfrage nach Kupfer verdoppeln dürfte. Ein schnelles Nachfragewachstum sieht die IEA bei Lithium, Kobalt, Nickel und Graphit – mit dem stärksten Wachstum bei Kupfer.



Gefährdung des Netto-Null-Ziels bis 2050

Bei der Fotovoltaik spielen die Materialkosten für Silizium, Silber und Kupfer eine grosse Rolle. Bei Windturbinen dominieren neben dem Beton für das Fundament in der Regel Stahl, Kupfer, Zink und Seltene Erden (für den Bau der Permanentmagneten in den Synchrongeneratoren). Allein im Jahr 2020 verzeichneten diese Rohstoffe massive Preissteigerungen zwischen 50 und 150%. Sollte sich dieser Trend fortsetzen, wären nach Schätzung der IEA zusätzliche USD 700 Mrd. für den Ausbau der erneuerbaren Energietechnologien nötig. Ganz anders die Kernenergie: Auch bei einem massiven Ausbau der heutigen Produktion bleibt der Bedarf an kritischen Rohstoffen bescheiden.

Ein allfälliger Engpass bei der Versorgung verbunden mit steigenden und volatileren Preisen hätten jedoch zur Folge, dass die Transition zu sauberer Energie langsamer vorangeht und teurer wird. Andererseits kann er zu intensiviertem Recycling oder Substitution führen. So könnte beispielsweise die Chemie von Batterien verändert werden (siehe Kasten S. 16).

Solche Prozesse sind jedoch laut IEA mit erheblichem Zeitbedarf und einer Periode volatiler Preise verbunden. Zudem droht die Abnahme der Qualität der Lagerstätten, die Zunahme von sozialen Unruhen und Umweltproblemen sowie die weitere Konzentration der Förderung und Verarbeitung auf immer weniger Länder. Nach Angaben

des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung (DIW) in Berlin produzieren derzeit beim Kupfer die Länder Chile, China und Peru 49% des Weltbedarfs, bei Nickel fördern Indonesien, die Philippinen und Russland 54%, beim Kobalt der Kongo allein 69% und beim Lithium liefern Australien, Chile und China 88% des Bedarfs. (M.S. nach IEA, Bericht «World Energy Outlook 2021» und DIW-Wochenbericht 4/2022, «Steigende Metallpreise als mögliches Hindernis der Energiewende»)

Steigende Preise bei Batterien

Das Kathodenmaterial für Fahrzeugbatterien wie Lithium, Nickel oder Kobalt ist 2021 deutlich teurer geworden. Bereits frühere Preissprünge haben Batteriehersteller bewogen, weniger Kobalt und mehr Nickel einzusetzen. Die IEA geht davon aus, dass in den kommenden Jahren beispielsweise vermehrt Anoden aus metallischem Lithium in Feststoffbatterien verbaut werden.

Dennoch erachtet die IEA das Erreichen des Netto-Null-Ziels bis 2050 auf der Rohstoffseite für sehr anspruchsvoll. Im entsprechenden Szenario «Nachhaltige Entwicklung» gibt es drei Mal mehr E-Fahrzeuge als im Szenario «Heutige Politiken». Das bedeute eine Nachfragesteigerung um das 40-Fache mit entsprechendem Preisauftrieb für batterietaugliches Nickel und Kobalt. In manchen Ländern dürfte das die Verbreitung von Elektroautos bremsen. Die IEA kann sich daher vorstellen, dass im Null-Emissions-Szenario viele Fahrzeugbatterien mit geringeren Materialansprüchen gebaut werden, auch wenn diese bezüglich Leistung suboptimal sein dürften.

Nuklearmedizin: Herstellung und Anwendung radioaktiver Stoffe

Die moderne Medizin ist auf eine zuverlässige Versorgung mit Radionukliden angewiesen, die in der Diagnostik und Therapie eingesetzt werden. Welche Radionuklide gibt es für medizinische Anwendungen und wie werden sie hergestellt?

Allein in der Schweiz erkranken gemäss Krebsliga jährlich 43'500 Personen neu an Krebs. Viele von ihnen sind auf die Nuklearmedizin angewiesen, wo radioaktive Stoffe – sogenannte Radionuklide – wertvolle Dienste leisten. Beim Zerfallen geben Radionuklide überschüssige Energie als ionisierende Strahlung ab, welche in der diagnostischen Bildgebung und zur Behandlung von Krankheiten wie Krebs sowie zur Sterilisation medizinischer Geräte eingesetzt wird.

Oftmals werden Radionuklide den Patientinnen und Patienten als radioaktives Medikament verabreicht, als sogenanntes Radiopharmakon oder Radiopharmazeutikum. Radionuklide werden überwiegend in Forschungsreaktoren und/oder mit einem Teilchenbeschleuniger (z.B. Zyklotron) hergestellt. Der Artikel stellt eine Auswahl an Radionukliden und deren Anwendungen vor.

Radionuklide in der Diagnostik

Bildgebende Verfahren, die zur Diagnose von Krankheiten in der Nuklearmedizin eingesetzt werden, ermöglichen die Darstellung von Funktion, Durchblutung und Stoffwechsel von Organen. Die Schilddrüse, die Knochen, das Herz, die Leber und weitere Organe lassen sich gut abbilden, und man kann Funktionsstörungen feststellen und Tumore aufspüren. Gebräuchliche Verfahren sind die Szintigraphie, die Single-Photon-Emissions-Computertomographie (SPECT) und die Positronen-Emissions-Tomographie (PET). SPECT und PET können mit der röntgenbasierten Computertomographie (CT) kombiniert werden.

Laut dem Nachschlagewerk MSD Manual können mit SPECT rechnergestützte Querschnittsbilder und dreidimensionale Aufnahmen angefertigt werden. Dazu wird eine spezielle Kamera verwendet (Gammakamera), die sich um den Patienten herumbewegt. Im Vergleich zur herkömmlichen Szintigraphie können mit SPECT mehr Informationen zum Beispiel über Herzfunktion, Blutzufuhr etc. erhalten werden. Bei der herkömmlichen Szintigraphie bewegen sich weder Patient noch Gammakamera, wodurch man ein normales, planares Bild in Form eines Szintigramms erhält. Der untersuchte Körper wird bei SPECT jedoch mehr Strahlung ausgesetzt als bei einer normalen Szintigraphie.

Mit einem PET-Scanner können qualitativ hochwertige farbige Schnittbilder eines Körpers (sogenannte Tomogramme) erzeugt werden und lässt sich die Funktion von Herz, Niere und Gehirn in Echtzeit untersuchen.

Wie bereits angedeutet, benötigen die eben beschriebenen bildgebenden Verfahren eine Strahlungsquelle, die innerhalb des zu untersuchenden Körpers positioniert wird. Sie lässt sich aus einem Radionuklid herstellen, das als radioaktiver Marker an ein Trägermolekül ange-dockt wird, um das radioaktive Arzneimittel zu erhalten, das verabreicht wird. Dieses Radiopharmakon hat spezi-



An der Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM-II) stellen Forschende der Technischen Universität München (TUM) Radionuklide auch für nuklearmedizinische Anwendungen her. (Foto: TUM)

fische Eigenschaften, um bestimmte Zellen zu erkennen und in ihnen zu bleiben. Das Radiopharmakon kann beispielsweise durch eine Spritze verabreicht werden, wonach es sich in einem bestimmten Gewebe wie einem Tumor anreichert und dort zerfällt.

Die von Radionukliden ausgesendete Strahlung wird ausserhalb des Körpers wieder aufgefangen. Somit sendet ein für die Diagnose verwendetes Radionuklid Gammastrahlen aus, die den Körper durchdringen kann. Die Menge des verabreichten Radiopharmakons muss genügend gross und die Halbwertszeit genügend lang sein, damit die gewünschten Informationen erhalten werden, bevor zu viele Radionuklide zerfallen sind. Andererseits sollte das Radionuklid möglichst keine hochenergetische Betastrahlung abgeben und eine so kurze Halbwertszeit haben, dass es schon kurz nach Abschluss der Bildgebung wieder zerfällt und, damit die Strahlenbelastung nicht zu gross wird.

Bei PET hingegen wandelt sich ein Proton des Radionuklids durch den Beta-Plus-Zerfall zuerst in ein Neutron, ein Positron (Anti-Teilchen des Elektrons) und ein Neutrino um. Beim Durchdringen des umgebenden Mediums, verliert das Positron seine kinetische Energie und vereinigt sich mit einem Elektron. Dabei werden sowohl das Positron als auch das Elektron vernichtet (Annihilation) und deren Massen direkt in Energie umgewandelt: Es werden zwei Photonen (Gammastrahlen) in entgegengesetzter Richtung emittiert (die sogenannte Annihilationsstrahlung), die sich dann ausserhalb des Körpers detektieren lässt.

Tc-99m: wichtigstes Radionuklid in der Diagnostik

Technetium-99m (Tc-99m) ist aus dieser Sicht ein ideales Isotop, das nur niedrigenergetische Gammastrahlen und Elektronen niedriger Energie emittiert und eine Halbwertszeit von sechs Stunden hat. Das in der Diagnostik am häufigsten eingesetzte Radionuklid Tc-99m wird in der Szintigraphie eingesetzt, einem Verfahren, mit dem sowohl Brustkrebs, Knochenmetastasen, eine Erkrankung der Nebenschilddrüsen, Schilddrüsenkrebs etc. aufgespürt werden können. Auch lassen sich mit der Szintigraphie die Gallenblase, das Herz, das Hirn, das Knochenmark, die Leber, die Durchblutung und Belüftung der Lunge, das

Lymphsystem, die Milz und die Nierenfunktion untersuchen. Dabei zeichnet eine Gammakamera die vom Radionuklid ausgesendete Gammastrahlung auf, wodurch ein Computer ein planares Bild der untersuchten Körperregion berechnen und als Szintigramm darstellen kann.

Gemäss World Nuclear Association (WNA) wird Tc-99m jährlich etwa 40 Millionen Mal angewendet, was 80% aller nuklearmedizinischen Anwendungen und 85% der diagnostischen Scans ausmacht. In den Industrieländern nutzt etwa jeder 50. Mensch jährlich die diagnostische Nuklearmedizin. Diese Zahlen zeigen auf, dass Krankenhäuser auf eine stabile Versorgung mit Radionukliden wie Tc-99m angewiesen sind, was eine Herausforderung ist. Vielfach werden Radionuklide in Forschungsreaktoren hergestellt (siehe weiter unten).

Weitere gebräuchliche Radionuklide in der Diagnostik sind Kohlenstoff-11 (C-11), Stickstoff-13 (N-13), Sauerstoff-15 (O-15), Fluor-18 (F-18) und Gallium-68 (Ga-68). Sie werden als Radionuklid bei der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) eingesetzt und lassen sich mit einem Teilchenbeschleuniger wie einem Zyklotron herstellen (siehe weiter unten).

Radionuklide für die Behandlung

Bei der Strahlentherapie oder auch Radiotherapie gibt es verschiedene Bestrahlungsmethoden, um Krebszellen gezielt mit ionisierender Strahlung abzutöten. Dies funktioniert, weil Krebszellen empfindlicher auf die Bestrahlung reagieren und sich schlechter regenerieren können als gesunde Zellen, die ebenfalls mitbestrahlt werden.

In der Teletherapie wurden zur Bestrahlung eines Tumors von aussen durch die Haut viele Jahrzehnte lang Strahlentherapiegeräte eingesetzt, die den Gammastrahler Kobalt-60 (Co-60) enthielten. Inzwischen wurden viele davon durch präzisere und vielseitigere Linearbeschleuniger ersetzt, die hochenergetische Elektronen- und Röntgenstrahlen erzeugen. Bei der stereotaktischen Bestrahlung von Hirntumoren und Hirnmetastasen kommen auch heute noch kleine Co-60-Strahler als sogenanntes «Gamma Knife» zum Einsatz. Mit Co-60 lassen sich auch medizinische Geräte sterilisieren. Co-60 wird beispielsweise mit Candu-Schwerwasserreaktoren im kanadischen Kernkraftwerk Bruce oder in

Russland mit RBMK-Reaktoren in Kursk, Leningrad und Smolensk hergestellt.

Bei der Brachytherapie werden in die zu behandelnde Person Radionuklide über Hohlnadeln oder Schlauchsysteme eingebracht und in unmittelbarer Nähe des zu bestrahlenden Gewebes platziert oder in dieses implantiert. So erhält das kranke Gewebe eine grosse Strahlendosis und das weiter entfernt liegende, gesunde Gewebe kann geschont werden. Um eine hohe Strahlenbelastung des Personals zu vermeiden, geschieht das Einführen der Quelle nach Möglichkeit ferngesteuert (Nachladeverfahren).

Als Implantate können winzige Metallkapseln (sogenannte Seeds) verwendet werden, die das Radionuklid im Hohlraum eingeschlossen enthalten. Sie werden über Hohlnadeln ins Gewebe eingeführt. Im Frühstadium von Prostatakrebs werden solche Seeds mit Iod-125 oder Palladium-103 permanent implantiert. Zur Behandlung

von Lippenkarzinomen und nach brusterhaltenden Operationen verwendet beispielsweise das Inselspital Bern Applikatoren, über die Iridium-192 im Gewebe platziert werden und die nach Abschluss der Behandlung wieder entfernt werden. Bei gynäkologischen Behandlungen kann die radioaktive Quelle auch via Applikator auf der Innenseite der Körperöffnung aufgelegt werden.

Bei der Radionuklidtherapie wird ein strahlendes Medikament in den Körper eingebracht. Über die Blutbahn wird dieses zum behandelnden Gewebe transportiert und reichert sich gezielt im Tumorgewebe an, wo es zerfällt und die Krebszellen lokal bestrahlt. Die Strahlenbelastung für gesundes Gewebe, das etwas weiter entfernt von der Strahlenquelle liegt, wird so stark reduziert.

Das Universitätsspital Zürich setzt zum Beispiel das Radionuklid Jod-131 (I-131) zur Behandlung von Schilddrüsenkrebs mittels Radiojodtherapie ein: Nach dem Schlucken einer Kapsel mit radioaktivem I-131, löst sich diese im Magen auf. Das freigesetzte Jod gelangt über die Blutbahn in die Schilddrüse und zerfällt dort unter Emission von Betastrahlung.

Mit dem Radionuklid Lutetium-177 (Lu-177) lassen sich verschiedene Krebsarten behandeln. Der Betastrahler Lu-177 wird in Krankenhäusern wie dem Universitätsspital Zürich zur Behandlung von neuroendokrinen Tumoren eingesetzt. Neuroendokrine Zellen befinden sich vor allem diffus verteilt im Magen-Darm-Trakt, in den Lungen und auch in der Bauchspeicheldrüse. Lu-177 kann in Kombination mit Ga-68 eingesetzt werden. Letzteres ermöglicht es den Ärzten, die Grösse des Prostata Tumors einzugrenzen und dementsprechend die zu verabreichende Dosis von Lu-177 anzupassen. Auch das Universitätsspital Basel und das Inselspital Bern behandeln Prostatakarzinome mit Lu-177. Diese Krebsart ist in Europa für 90'000 Todesfälle pro Jahr verantwortlich. Das belgische National Institute for Radioelements (IRE) geht von einem exponentiell ansteigenden Bedarf an Lu-177 aus: Während im Jahr 2020 rund 16'000 Patienten das Radionuklid benötigten, werden es im Jahr 2026 voraussichtlich 138'000 Patienten sein. Auch Ac-225 lässt sich bei Prostatakrebs zur gezielten Alphatherapie einsetzen, falls herkömmliche Krebstherapien nicht erfolgreich waren. →



Das belgische Kernforschungszentrum SCK-CEN hat eine innovative Methode entwickelt, um reines Lutetium-177 herzustellen. (Foto: SCK-CEN)

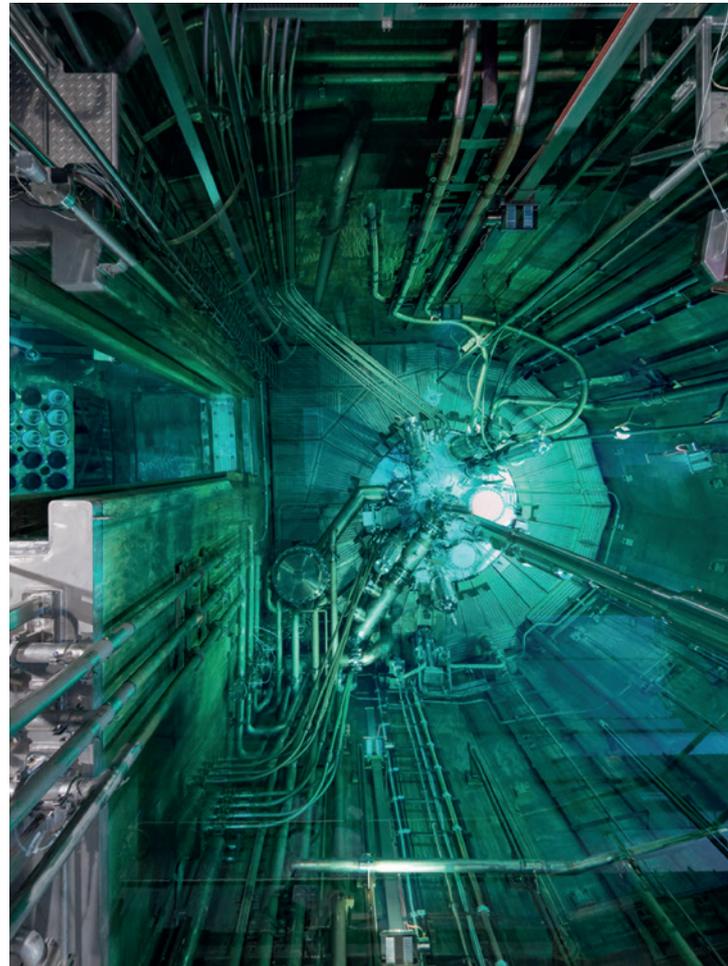
In den Niederlanden werden im Hochflussreaktor (HFR) in Petten bereits seit vielen Jahren verschiedene Materialien bestrahlt, um Lu-177 herzustellen. Ein weltweit führender Hersteller für Lu-177 und Molybdän-99 (Mo-99) ist auch der südafrikanische Forschungsreaktor Safari-1, der 2030 ausser Betrieb gehen soll. Mo-99 ist das Ausgangsprodukt, welches zur Herstellung von Tc-99m benötigt wird. Lu-177 entsteht beispielsweise aus der Bestrahlung von Ytterbium-176. Durch Neutronenbeschuss im Reaktor entsteht zunächst Ytterbium-177, das schliesslich zu Lu-177 zerfällt.

Radionuklidherstellung mit Reaktoren

Die am häufigsten hergestellten Radionuklide sind Mo-99 und I-131. Sie werden grossmehrheitlich aus bestrahltem spaltbarem Material in einem Kernreaktor hergestellt. Der HFR Petten hat lange Zeit etwa 60% des europäischen und 30% des weltweiten Bedarfs an Mo-99 gedeckt. Bei der Mo-99-Gewinnung werden gemäss der Technischen Universität München (TUM) Uran-Targets typischerweise während sechs Tagen mit einem hohen Fluss an thermischen Neutronen bestrahlt, wie er praktisch nur an Forschungsreaktoren verfügbar ist. Als Targets kommen Trägerplättchen oder Röhrchen aus Aluminium zum Einsatz, die mit 19,75% angereichertem Uran-235 beladen sind. Im Kernreaktor entsteht so aus U-235 zunächst das Spaltprodukt Mo-99, welches eine Halbwertszeit von 66 Stunden hat und zu metastabilem Tc-99m zerfällt. Mit einer Halbwertszeit von sechs Stunden wandelt sich letzteres in Technetium-99 um und setzt dabei die für die Diagnostik benötigte Gammastrahlung frei.

Damit Mo-99 von Krankenhäusern verwendet werden kann, muss es nach der Bestrahlung im Reaktor mit chemischen Prozessen herausgelöst und abgetrennt werden, wonach es in einem Mo-99/Tc-99m-Generator verpackt wird. Aus diesem Generator kann im Krankenhaus dann das Tc-99m herausgelöst und für die Bildgebung verwendet werden.

In der westlichen Welt gibt es gemäss der Technischen Universität München nur sechs grosse Bestrahlungsanlagen, in denen Mo-99/Tc-99m hergestellt wird: vier in Europa sowie jeweils eine in Afrika und Australien. Dies deckt sich mit den Angaben der WNA, die ebenfalls rela-



Blick in die Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM-II) der Technischen Universität München (TUM). Am linken Bildrand ist das Abklingbecken für die ausgedienten Brennstäbe zu sehen. (Foto: TUM)

tiv wenige wichtige Forschungsreaktoren aufführt – rund ein Dutzend –, mit denen Radionuklide hergestellt werden. Dazu gehören FRM-II (Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz) im deutschen Jülich, HFR (Hochflussreaktor) im niederländischen Petten, Maria in Polen, Safari-1 in Südafrika und Opal in Australien. Zu den weltweit wichtigsten Herstellern von Radionukliden gehören: Curium (Frankreich und USA), MDS Nordion (Kanada), IRE (Europa), NTP (Südafrika), JSC Isotope (Russland) und ANM (Ansto Australien).

Die meisten älteren Forschungsreaktoren stammen noch aus den 1960er- und 1970er-Jahren. Zur Durchführung von Experimenten waren sie ursprünglich auf einen Betrieb mit hoch angereichertem Uran (highly enriched uranium, HEU, Uran-235-Anteil höher als 20%) ausgelegt. Aufgrund des Proliferationsrisikos bei HEU mussten im Rahmen des Vertrags über die Nichtverbreitung von Kernwaffen die meisten Forschungsreaktoren auf schwach angereichertes Uran (low enriched uranium, LEU) umgerüstet werden, dessen Uran-235-Anteil weniger als 20% beträgt. Dies betrifft nicht nur den Uran-Kernbrennstoff, sondern auch die Uranplättchen, aus denen Tc-99m-hergestellt wird, wodurch die ganze Produktionskette aufwendig angepasst werden musste.

Die Umstellung von HEU auf LEU hat zu weiteren Produktionsausfällen geführt. Durch das fortgeschrittene Alter der Forschungsreaktoren wurden einige davon bereits oder werden in absehbarer Zeit stillgelegt – einige schon in weniger als zehn Jahren. Die Forschungsreaktoren stehen nur zweitweise zur Herstellung von medizinischen Radionukliden zur Verfügung. Überdies benötigen die älteren Reaktoren auch mehr Wartung. Im Jahr 2008 beispielsweise sind mehrere Forschungsreaktoren ausgefallen, wodurch es europaweit zu einem Versorgungsengpass an Radionukliden kam. Im niederländischen Petten soll als Ersatz des HFR der neue Mehrzweckreaktor Pallas bis 2026 gebaut werden, um die Versorgung mit medizinischen Radionukliden und die Fortsetzung der Kernforschung zu gewährleisten.

Radionuklid-Herstellung mit Teilchenbeschleunigern

Radiopharmazeutika, die Radionuklide mit kurzen Halbwertszeiten im Bereich einiger Minuten oder weniger Stunden enthalten, müssen nach ihrer Herstellung schnell verabreicht werden. Lange Transportzeiten liegen da nicht drin, sonst ist das Radionuklid zerfallen, bevor es überhaupt zum Einsatz kommt. Solche Radionuklide werden daher vorzugsweise mit einem Teilchenbeschleuniger wie dem Zyklotron hergestellt. Im Gegensatz zu Forschungsreaktoren verwenden Zyklotrone keine radioaktive Quelle zur Radionuklidherstellung, sind einfacher zu installieren und zu betreiben und könnten direkt in Krankenhäusern aufgestellt werden.

In einem Zyklotron lenkt ein Magnetfeld die geladenen Teilchen auf spiralförmige Bahnen. In mehreren Umläufen werden diese Teilchen durch ein elektrisches Feld auf hohe Energien beschleunigt und dann auf ein Target gelenkt. So erhält man schlussendlich das gewünschte Radionuklid, aus dem das Radiopharmazeutikum hergestellt wird.

Gebräuchliche Radionuklide, die in einem Zyklotron hergestellt werden, sind beispielsweise C-11, N-13, O-15, F-18 und Ga-68. Sie besitzen Halbwertszeit im Minutenbereich und senden Positronen aus, wodurch sie in der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) eingesetzt werden können. Das wichtigste Radiopharmazeutikum ist dabei Fluordesoxyglukose, welche als Tracer das Radionuklid F-18 mit einer Halbwertszeit von knapp zwei Stunden enthält.

Ga-68 wird in der Regel mit einem $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ -Generator erzeugt, den beispielsweise Krankenhäuser einsetzen können, die kein Zyklotron besitzen. Die entnehmbare Menge von Ga-68 aus einem solchen Generator ist allerdings beschränkt; wird Ga-68 in einem Zyklotron hergestellt, können damit mehr Patienten pro Tag untersucht werden. Auch I-123, das zur Untersuchung der Schilddrüsenfunktion eingesetzt wird, kann mit einem Zyklotron hergestellt werden.

Obwohl das Mo-99 vorwiegend mit Reaktoren hergestellt wird, ist auch eine Herstellung mit einem Zyklotron eine Alternative, die laut Internationaler Atomenergie-Organisation (IAEO) und WNA aber mit viel höheren Kosten verbunden ist. Ende 2020 wurde in Kanada mit einem Zyklotron hergestelltes Tc-99m für den Markt zugelassen.

Gemäss IAEO werden weltweit zwischen 10 und 12% der Radiopharmazeutika mit über 1300 Zyklotronen hergestellt. Die Nachfrage nach Zyklotronen steigt, da immer mehr der von ihnen produzierten Radionuklide in der Forschung, Diagnose und Behandlung einer Reihe von Krankheiten wie Krebs, Parkinson, Alzheimer und Schlaflosigkeit eingesetzt werden. Einen Überblick über Forschungseinrichtungen und Spitäler, die Zyklotrone einsetzen, gibt die «Database of Cyclotrons for Radionuclide Production» der IAEO. Dort sind für die Schweiz beispielsweise das Paul Scherrer Institut (PSI), das Univer-

sitätsspital Zürich (USZ) und die Swan Isotopen AG (Firmensitz beim Inselspital Bern) aufgeführt. (B.G. nach verschiedenen Quellen wie «Radioisotopes in Medicine» der World Nuclear Association)

Erleichterter Zugang zu Radionukliden für die medizinische Forschung

In der Nuklearmedizin werden Radionuklide für Therapie und Bildgebung in grossem Umfang eingesetzt. Die medizinische Forschung macht in diesem Bereich Fortschritte und entwickelt neue, vielversprechende Verfahren. Hinderlich dabei ist, dass der Zugang zu neuartigen Radionukliden, die nicht kommerziell erhältlich sind, begrenzt ist. Dies möchte das europäische Programm für medizinische Radionuklide (Prismap) ändern und gerade in der Entwicklungsphase neuartiger radio-medizinischer Produkte den Zugang zu neuartigen Radionukliden erleichtern, die mit Kernreaktoren und Teilchenbeschleunigern hergestellt werden. Das Cern in Genf und das PSI sind zwei der Schweizer Forschungseinrichtungen, die an Prismap teilnehmen.

Das PSI entwickelt Radiopharmazeutika für Forschungszwecke und klinische Versuche und stellt auch Radionuklide her. Die Medicis-Anlage des Cern trägt zur medizinischen Forschung bei, indem sie neuartige Radioisotope herstellt. Diese werden auch für die Theranostik, der kombinierten Diagnose und Therapie kranker Zellen in einem Patienten, im Rahmen von Prismap hergestellt.

Taxonomie-Reaktion: scheinheilige Doppelmoral



Stefan Diepenbrock

Leiter Kommunikation
Nuklearforum Schweiz

Zum zweiten Mal innerhalb eines halben Jahres war der Aufschrei gross und dürfte bis Brüssel gehört worden sein. Nachdem die EU-Kommission Anfang 2022 in ihrem Entwurf zur Taxonomie für nachhaltige Investitionen Kernenergie und Erdgas aufgenommen hatte, folgte Anfang Juli das EU-Parlament diesem Vorschlag mit einer letztlich doch deutlichen Mehrheit.

Die Reaktionen von vermeintlichen Umwelt- und Klimaschutzern sowie Kernkraftgegnern liess – wie schon im Januar – nicht lange auf sich warten. Reflexartig machte der Vorwurf des «Greenwashing» die grosse öffentliche Runde. Neben Mitgliedsstaaten wie Österreich und Luxemburg kündigte auch Greenpeace eine Klage gegen diesen Entscheid des Europäischen Parlaments an, um die Taxonomie-Regelung doch noch zu verhindern. So weit, so erwartbar. Die Kritik offenbart aber auch die eher scheinheilige Doppelmoral der Gegner der Kernenergie. Man kann über die Taxonomie geteilter Meinung sein. Wenn aber diese Regelung zu nachhaltigen und klimafreundlichen Investitionen führen soll, müsste vor allem der Einbezug von Erdgas mit seinen enormen klimaschädlichen Emissionen bei Klimaschützern diesen Sturm der Entrüstung auslösen. Kernenergie kann aus vielen Gründen als «grün» gelabelt werden und punktet auch bei einer ganzheitlichen Betrachtung der Nachhaltigkeitskriterien. 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. Eine Erkenntnis, die eigentlich nicht neu ist und vielfach von unabhängigen Stellen bestätigt wurde.

Bei fossilem Erdgas dagegen muss man schon eine Menge Fantasie aufbringen, um hier nachhaltige Eigenschaften zu finden. Diese wichtige Unterscheidung zwischen den beiden Energieformen Kernenergie und Gas wurde in der Taxonomie-Debatte leider aber viel zu selten vorgenommen. Der Fehler der Taxonomie bestand demnach darin, fossiles Gas mit grüner Atomkraft zu verknüpfen.

Der österreichische Wissenschaftspublizist Florian Aigner hat auf Twitter das Dilemma, dass beide Energieformen nur gemeinsam als nachhaltig in den Taxonomie-Beschluss aufgenommen werden konnten, auf den Punkt gebracht. «Ich kann nur den Kopf schütteln, wenn JournalistInnen heute die Kernenergie in der Taxonomie zum Skandal erklären und das Thema Gas nur nebenbei erwähnen. Man kann aus guten Gründen gegen Kernenergie sein. Bin ich auch. Aber beim Klima ist Gas der Skandal, nicht Kernenergie.»

(Vielleicht) überraschend, aber angenehm ehrlich, lautet auch die Stellungnahme zum Taxonomie-Entscheid von Greta Thunberg, der Symbolfigur der Klimabewegung Fridays for Future – vor allem wenn man darauf achtet, was sie nicht sagt: «Das EU-Parlament hat gerade dafür gestimmt, fossiles Gas als «grüne» Energie zu bezeich-

nen. Die Heuchelei ist frappierend, aber leider nicht überraschend.» Haben Sie es bemerkt? Kein kritisches Wort zur Atomkraft. Und das ist richtig so.

Leider waren diese differenzierten Bewertungen gerade in der deutschsprachigen Öffentlichkeit eher die Ausnahme – auch in den Medien. Die verpassten der Taxonomie das mittlerweile gewohnte Framing: «EU-Parlament stuft AKWs als klimafreundlich ein», titelte «Blick» und auch «Der Bund» bediente das gängige Klischee: «Atomkraft bekommt grünes Label». Quasi kein Beitrag zur Taxonomie kam ohne das obligatorische Bildmotiv eines AKW-Kühlturms aus, gern garniert mit ein paar Bildern aus Tschernobyl oder Videosequenzen aus Fukushima. Erdgas und dessen Umweltauswirkungen: Nebensache. Gefühlte 90% der Kritik an der Taxonomie entzündete sich an der Aufnahme der Kernenergie, während die gleiche Behandlung von Erdgas eher im Vorbeigehen abgelehnt wurde. Wer bislang schon einmal über den Begriff «Framing» gestolpert ist, aber damit nichts anzufangen wusste, fand bei der Berichterstattung gute Beispiele dafür, was von Robert Entman, Professor für Medien und Public Affairs an der Universität Washington, so definiert wird: «Framing bedeutet, einige Aspekte einer wahrgenommenen Realität auszuwählen und sie in einem Text so hervorzuheben, dass eine bestimmte Problemdefinition, kausale Interpretation, moralische Bewertung und/oder Handlungsempfehlung für den beschriebenen Gegenstand gefördert wird.»

Diese pauschale Be- und Verurteilung der Kernenergie in der Taxonomie setzte sich folglich in der öffentlichen Empörung auch nach dem bekannten Muster fort: «Atomkraft ist zu teuer, der Neubau dauert zu lange, Uran kommt aus Russland, die Abfallfrage ist ungelöst, die Sicherheit ist nicht gegeben und auch zur Klimafreundlichkeit gibt es grosse Fragezeichen.» Kaum jemand – auch nicht die Medienvertreter – hat sich die Mühe gemacht, die detaillierte Regelung zur Taxonomie zu studieren, oder der Frage nachzugehen, wie die Auswirkungen auf die internationalen Finanzströme genau aussehen werden. Die Kriterien, nach denen Kernenergie als nachhaltig gilt, sind nämlich ziemliche Herausforderungen: Investitionen in neue Kernkraftwerke sollen beispielsweise dann als nachhaltig klassifiziert werden können, wenn die Anlagen neuesten technischen Stan-

dards entsprechen und wenn diese bis spätestens 2045 eine Baugenehmigung erhalten haben. Als weitere Bedingung ist ein konkreter Plan für den Betrieb einer Entsorgungsanlage für hochaktive Abfälle ab spätestens 2050 vorgesehen.

Die meisten Gegner der Taxonomie-Entscheidung haben sich mit diesen Details gar nicht erst aufgehalten. Ein plumpes «Atomkraft ist weder grün noch nachhaltig» musste reichen. Man konnte den Eindruck bekommen, als wollte das EU-Parlament mit dem Beschluss nicht lediglich dazu beitragen, in der Europäischen Union mehr Geld in nachhaltige Tätigkeiten zu lenken, sondern habe eine europaweite Steuerfinanzierung für alle Kernkraftwerksneubauten beschlossen.

Im Sog von Greenpeace oder WWF riefen vor allem selbst ernannte Klimaschützer nicht nur auf der Besuchertribüne des Parlamentsgebäudes «Verrat». Sie werden nicht müde zu betonen, dass die Bekämpfung des Klimawandels die mit Abstand grösste gesellschaftliche Aufgabe sei, der sich alle Teile der Gesellschaft unterordnen müssten und bei der sich die Politik an den Empfehlungen der Wissenschaftler zu orientieren habe. Diese Forderungen verstummen aber ganz schnell, wenn die nachgewiesenen klimafreundliche und verlässliche Kernenergie ins Spiel kommt. Offenbar ist die Angst vor dem Klimawandel dann doch nicht so gross, als dass die Klimaschützer ihr «Tabu» Kernenergie fallen lassen würden.

Mehrere Akteure haben wie eingangs erwähnt angekündigt, gegen den Taxonomie-Entscheid klagen zu wollen. So die Mitgliedsstaaten Österreich und Luxemburg, die hier eine Kompetenzüberschreitung der EU-Kommission sehen. Auch Greenpeace hat eine Klage vor dem Europäischen Gerichtshof (EuGH) angekündigt und ist zuversichtlich, dass der EuGH «dieses politisch motivierte Greenwashing für ungültig erklären wird, da es eindeutig gegen europäisches Recht verstösst». Diese Klageankündigungen lassen ein merkwürdiges Demokratieverständnis vermuten. Wohlgermerkt haben hier die gewählten Abgeordneten der EU-Mitgliedsstaaten über die Taxonomie abgestimmt. Mehr Demokratie geht fast nicht (ausser in der Schweiz). Diesen Parlamentsbeschluss dann – wenn das Ergebnis nicht den eigenen

Wünschen entspricht – mit juristischen Mitteln wieder kippen zu wollen, ist mehr als nur eine «schlechter Verlierer»-Mentalität. Greenpeace offenbart im Titel seiner Medienmitteilung ziemlich unverhohlen seine Abneigung gegen das System der parlamentarischen Demokratie: «Taxonomie: Greenpeace kündigt Klage an, nachdem die EU-Abgeordneten es nicht geschafft haben, Gas und Atomkraft auszuschliessen.»

Was bleibt? Atomkraft ist nach wie vor ein ideologisches und zum Teil auch emotionsgeladenes Thema – vor allem im deutschsprachigen Raum. An dem Beispiel der Taxonomie wird deutlich, dass es nicht viel braucht, um die seit Jahrzehnten währende Grundsatzdebatte in der Öffentlichkeit neu zu entfachen. Stellen wir uns ihr!

Schweiz

Die öffentliche **Zustimmung** für die Kernenergie nimmt in der Schweiz deutlich zu. Gemäss einer aktuellen repräsentativen Demoscope-Umfrage im Auftrag des Nuklearforums Schweiz befürworten 52% der Schweizerinnen und Schweizer die weitere Nutzung der Kernenergie und lehnen das gesetzliche Neubauverbot für Kernkraftwerke ab.

Der **Endenergieverbrauch** der Schweiz steigt 2021 gegenüber dem Vorjahr um 6,3% auf 794'720 Terajoule. Hauptgründe dafür sind laut Bundesamt für Energie (BFE) die im Vergleich zum Vorjahr kältere Witterung und die Lockerung der Restriktionen zur Bekämpfung der Covid-19-Pandemie.

Das Kernkraftwerk **Leibstadt** schliesst die rund vierwöchige Jahreshauptrevision ab und nimmt die Stromproduktion wieder auf.



Während der planmässigen Jahreshauptrevision 2022 wurden im Kernkraftwerk Leibstadt Brennelemente ersetzt, Instandhaltungs- und Inspektionsarbeiten vorgenommen und wiederkehrende Prüfungen an Systemen und Komponenten durchgeführt. (Foto: Max Brugger)

Das Kernkraftwerk **Beznau** schliesst die Revisionsarbeiten an Block 1 und 2 ebenfalls plangemäss ab und bringt die beiden Einheiten nach erfolgter Freigabe durch das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (Ensi) wieder ans Netz.

Das Nuklearforum fordert in einer **Vernehmlassungsantwort** zur Revision der Kernenergiehaftpflichtverordnung, dass die Revision so lange sistiert wird, bis die Folgen für die betroffenen Unternehmen klarer sind.

Da die Stilllegungsarbeiten im Kernkraftwerk **Mühleberg** und der Abtransport der Brennelemente ins Zwischenlager (Zwilag) auf Kurs sind, reicht BKW das Gesuch für die zweite Stilllegungsphase frühzeitig beim Ensi ein.



Die ausgedienten Brennelemente werden im Kernkraftwerk Mühleberg unter Wasser in den Spezialbehälter verladen, mit dem sie ins Zwilag transportiert werden. (Foto: Keystone / BKW-Handout)

Das Ensi legt für die Schweizer Kernkraftwerke neue Gefährdungsannahmen für verschiedene **Extremwetter-Ereignisse** fest. Dabei sind insbesondere neue Erkenntnisse des Klimawandels berücksichtigt worden, wie etwa hohe Lufttemperaturen und Tornados.

Das Ensi nimmt am siebten Review-Meeting der **Joint Convention** on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management teil. Die Schweiz erhält gute Noten für ihren Umgang mit ausgedienten Brennelementen und radioaktivem Abfall.



Die siebte Überprüfungs-konferenz findet vom 27. Juni bis 8. Juli 2022 am IAEA-Hauptsitz in Wien unter dem Vorsitz des ehemaligen Ensi-Direktors Hans Wanner (Bildmitte) statt. (Foto: Dean Calma / IAEA)

International

Der amerikanische Präsident **Joe Biden** setzt das Gesetzespaket zum Klimaschutz und zu Sozialreformen (Inflation Reduction Act) mit seiner Unterschrift in Kraft. Das weitreichende Gesetz umfasst unter anderem Unterstützung für bestehende und neue Kernkraftwerke.



Joe Biden setzt die Inflation Reduction Act in Kraft. Er bezeichnete sie als «eines der bedeutendsten Gesetze in unserer Geschichte». (Foto: @POTUS)

Die **niederländische Regierung** plant den Bau von zwei neuen Kernkraftwerkseinheiten und will auch prüfen, welche Rolle Reaktoren bei der Produktion von grünem Wasserstoff spielen können, heisst es in einem Entwurf des nationalen Energiesystemplans.

«**Japan** soll darauf hinarbeiten, seine stillgelegten Kernkraftwerkseinheiten wieder in Betrieb zu nehmen, eine Verlängerung ihrer Betriebsdauer in Betracht zu ziehen und innovative Reaktoren der nächsten Generation zu entwickeln», erklärt der japanische Ministerpräsident **Fumio Kishida** in einer Ratssitzung zur Umsetzung der grünen Transformation.

Mehr als 40 Organisationen aus der ganzen Welt, darunter Betreiber von Kernenergieanlagen, Reaktorhersteller, Hochschulen und Industrieverbände, schliessen sich zur «**Nuclear Hydrogen Initiative**» zusammen, um die Nutzung von nuklearem Wasserstoff als «entscheidende Lösung für das Klima» zu fördern.

Die **südkoreanische Regierung** entwirft eine neue Energiepolitik, die darauf abzielt, den Anteil der Kernenergie am Energiemix des Landes bis 2030 bei mindestens 30% zu halten. Ausserdem soll der Bau der Blöcke 3 und 4 des Kernkraftwerks Shin-Hanul wieder aufgenommen werden.



Yoon Suk-yeol, der Präsident Südkoreas seit Anfang Mai 2022, löst seine Wahlversprechen hinsichtlich Kernenergie ein: Am 5. Juli 2022 wurde eine neue Energiepolitik verabschiedet. (Foto: Office of the President)

Belgien schliesst mit dem französischen Energieversorger Engie eine erste Vereinbarung, um die Nutzung der Kernenergie um zehn Jahre zu verlängern. Eine endgültige Regelung soll bis Jahresende getroffen werden.

In der chinesischen Provinz Zhejiang wird am 28. Juni 2022 der erste Beton für **Sanmen-3** gegossen und damit die Ausbauphase II des Kernkraftwerks Sanmen gestartet.



Für Block 3 des Kernkraftwerks Sanmen wird der erste Beton gegossen. (Foto: CGN) →

Die Hungarian Atomic Energy Authority (HAEA) erteilt die Baugenehmigung für die Kernkraftwerksblöcke **Paks-5 und -6**. Damit sei die wichtigste Voraussetzung für den Übergang in die Bauphase erfüllt.

Anfang Juli wird mit dem Giessen des ersten Betons für den **dritten Block** die Ausbauphase II des **Haiyang**-Kernkraftwerksprojekts in der chinesischen Provinz Shandong lanciert. Der Bau des überregionalen Haiyang-Fernwärmenetzes beginnt ebenfalls.

Im Juli wird der erste sicherheitsrelevante Beton von **Akkuyu-4** vom Typ WWER-1200 in der Türkei und von **El-Dabaa-1** in Ägypten gegossen.



In der ägyptischen Stadt El Dabaa sollen vier WWER-1200-Reaktoren gebaut werden. (Foto: Rosatom)

Das Kernkraftwerk **Hinkley-Point-B1** im Südwesten Englands wird planmässig und endgültig abgeschaltet. Damit sind noch neun Reaktoren im kommerziellen Betrieb, was die Stromversorgung des Landes vor den kältesten Monaten des Jahres weiter belastet.

Ontario Power Generation (OPG) und X-energy unterzeichnen eine Rahmenvereinbarung. Sie erkunden Möglichkeiten für industrielle Anwendungen von kleinen, modularen Reaktoren (SMR) des Typs **Xe-100** von X-energy in Kanada. Der Reaktor der Generation IV soll Hochtemperaturdampf und Strom liefern.

Das britische Department for Business, Energy and Industrial Strategy (BEIS) will mit **Fördermitteln** in der Höhe von GBP 75 Mio. (CHF 87 Mio.) die einheimische Produktion von Brennstoff für Kernreaktoren ankurbeln und dadurch die Energieversorgungssicherheit stärken.

Der **Block 6** des chinesischen Kernkraftwerks **Hongyanhe** nimmt nach dem erfolgreichen Abschluss des 168-stündigen Probelaufs den kommerziellen Betrieb auf.



Die Kernkraftwerkseinheit Hongyanhe-6 nimmt am 23. Juni 2022 den kommerziellen Betrieb auf. (Foto: CGN)

Die britische Regierung erteilt am 20. Juli 2022 die sogenannte Development Consent Order (DCO) für den Bau des Kernkraftwerks **Sizewell C** – ein wichtiger Meilenstein im Genehmigungsprozess.

Das ins Stocken geratene brasilianische Projekt **Angra-3** erhält eine Genehmigung für die Wiederaufnahme der Bauarbeiten.



Die Kernkraftwerkseinheit Angra-3 an der südlichen Küste des Bundesstaats Rio de Janeiro kann fertiggestellt werden. (Foto: Eletronuclear)

Die Europäische Kommission lanciert eine eingehende Untersuchung, um zu prüfen, ob die geplante staatliche Unterstützung Tschechiens für den Bau eines neuen Kernkraftwerks am Standort **Dukovany** mit den EU-Beihilfevorschriften vereinbar ist.



Die Europäische Kommission leitet eine Untersuchung zur tschechischen Förderung für eine neue Kernkraftwerkseinheit am Standort Dukovany im Südosten des Landes ein. (Foto: ČEZ)

Die IAEO ruft eine neue Initiative ins Leben, die politische Entscheidungsträger, Aufsichtsbehörden, Entwickler, Hersteller und Betreiber zusammenbringt, um gemeinsame regulatorische und industrielle Konzepte für **kleine, modulare Reaktoren** auszuarbeiten.

Eine vom Institute of Public Affairs (IPA) in Auftrag gegebene Umfrage zeigt auf, dass eine Mehrheit der **Bevölkerung Australiens** den Bau von Kernkraftwerken in ihrem Land unterstützt.

In **Deutschland** sinkt die öffentliche Zustimmung für den geplanten Atomausstieg Ende des Jahres. Gleichzeitig sprechen sich deutlich mehr Bürgerinnen und Bürger für den Streckbetrieb bzw. die Laufzeitverlängerung der drei noch bestehenden Kernkraftwerkseinheiten oder sogar für den Neubau aus. Das haben zwei repräsentative Umfragen ergeben.

Der schwedische Energieversorger **Vattenfall** gibt bekannt, dass er mit einer Pilotstudie über die Machbarkeit des Einsatzes von mindestens zwei kleinen, modularen Reaktoren am Standort des Kernkraftwerks Ringhals beginnen wird.



Vattenfall-CEO Anna Borg will den möglichen Bau von zwei kleinen, modularen Reaktoren am Standort Ringhals prüfen lassen. (Foto: Vattenfall)

SaskPower, der Energieversorger der Provinz Saskatchewan, wählt den BWRX-300 von **GE Hitachi** für einen möglichen Einsatz Mitte der 2030er-Jahre aus. Dieser kleine, modulare Reaktor ist auch für das Darlington New Nuclear Project von Ontario Power Generation vorgesehen.

Laut dem Global Fusion Industry 2022 Report nehmen die Investitionen in **private Fusionsunternehmen** gegenüber dem Vorjahr um mehr als das Doppelte zu. Acht neue Unternehmen werden gegründet, womit sich die Gesamtzahl auf etwa 33 erhöht. (M.A.)

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.

Gerechte Energiewende in Afrika



Naphtali Mokgalapa

Ingenieur für nukleare Sicherheit bei der South African Nuclear Energy Corporation (NECSA)

Viele Länder planen ihre Emissionspfade in Richtung Netto-Null abzusenken. Auch Südafrika möchte Kohlekraftwerke stilllegen. Der aus Südafrika stammende Nuklearingenieur Naphtali Mokgalapa gibt einen Einblick, wie eine sozial verträgliche und gerechte Energiewende in Afrika aussehen könnte und wo er die Rolle der Kernenergie sieht.

Auf der 26. Uno-Klimakonferenz in Glasgow (COP26) Ende 2021 sagte der Präsident der USA, Joe Biden, in seiner Rede: «Ich bin in einer Gegend im Nordosten Pennsylvanias aufgewachsen, die ein wichtiger Kohlelieferant war. Ich habe miterlebt, was passierte, als diese Industrie zusammenbrach und welche Auswirkungen dies auf die Gemeinschaft hatte. Um eine Wiederholung zu vermeiden, halte ich es für wichtig, sich um die betroffenen Menschen zu kümmern und ihnen Alternativen zu bieten.»

Der Integrated Resource Plan (IRP2019) der Regierung Südafrikas sieht die Stilllegung von Kohlekraftwerken mit einer Leistung von mehr als 11'000 MW bis 2030 und von etwa 24'100 MW bis 2050 vor. Bei der Stilllegung dieser hohen Grundlastkapazität sollte Südafrika Bidens Warnung vor einer drohenden sozioökonomischen Katastrophe beherzigen, um sicherzustellen, dass die Energiewende von fossilen Brennstoffen hin zu sauberen Energien gerecht abläuft. Es ist unerlässlich, dass der Integrated Resource Plan auch weiterhin den relevanten Entwicklungen auf der Welt Rechnung trägt. Daher der Vorschlag, den Plan in regelmässigen Abständen zu überprüfen und ihn mit aktualisierten Daten auf dem neuesten Stand zu halten.



Auf dem ganzen afrikanischen Kontinent gibt es derzeit nur ein einziges Kernkraftwerk, das zur kommerziellen Stromerzeugung in Betrieb ist. Es ist das südafrikanische Kernkraftwerk Koeberg mit seinen zwei 900-MW-Druckwasserreaktoren, das 30 Kilometer nördlich von Kapstadt liegt und dem staatlichen Energieversorger Eskom gehört. Zukünftig kommt ein weiteres Kernkraftwerk im ägyptischen El Dabaa dazu: Im Juni 2022 wurde der Bau der ersten von vier Kernkraftwerkseinheiten gestartet. (Foto: Koeberg Nuclear Power Plant 2010 von Paul-Scott / Wikimedia-Commons, CC BY-SA 2.0)

In Südafrika ist Kohle nicht nur vorherrschend, sondern auch die Grundlage für den Zugang zu Energie, da sie Haushalte, Unternehmen, Produktionsanlagen, Bergbau, Transport, Kommunikationssysteme und Dienstleistungen in der gesamten Wirtschaft mit erschwinglichem Strom versorgt. Daher muss deren Ersatz nicht nur geeignet sein, sondern auch alle Faktoren berücksichtigen und nicht nur isoliert den Klimawandel betrachten. Ein radikaler, unüberlegter Umstieg, bei dem die Eignung der vorgeschlagenen Energiequelle nicht berücksichtigt wird, insbesondere wenn es darum geht, die Industrialisierung voranzutreiben und die Energieversorgungssicherheit im Interesse der Bevölkerung zu gewährleisten, würde zu wirtschaftlicher, sozialer und schliesslich politischer Instabilität führen – ein totales Chaos. Die Kernenergie ist das Bindeglied, das sicherstellen kann,

dass eine gerechte Energiewende die Souveränität des Staates, den Umweltschutz und die Lebensgrundlagen garantiert.

Souveränität des Staates

Der Energieverfügbarkeitsfaktor der Kohlekraftwerke des südafrikanischen Stromversorgungsunternehmens Eskom ist bereits rückläufig (siehe jährliche Statistik zur Stromerzeugung in Südafrika für 2021 – Rat für wissenschaftliche und industrielle Forschung, CSIR). Es wird erwartet, dass Südafrika ab Mitte der 2020er-Jahre zahlreiche Kohlekraftwerke ausser Betrieb nehmen wird. Das Land kann es sich jedoch nicht leisten, Grundlastkapazitäten vorzeitig stillzulegen, ohne Pläne für den Ersatz durch andere Grundlastkapazitäten zu erstellen. →



Südafrika ist reich an Kohlevorkommen und besitzt deshalb zahlreiche Kohlekraftwerke, die Grundlastkapazität zur Verfügung stellen. Eines davon ist das Sechs-Block-Kohlekraftwerk Matla, das in der Provinz Mpumalanga im Nordosten des Landes liegt. Es wird mit Steinkohle aus der eigenen Matla-Kohlegrube versorgt, welche gemäss der Betreiberfirma Exxaro Tausenden von Arbeitnehmenden ein Einkommen bietet. (Foto: Eskom)

Das südafrikanische Netz und seine Betriebskonzepte wurden so ausgelegt, dass korrekte Spannungen und Frequenzen im System gewährleistet sind. Um die Netzstabilität aufrechtzuerhalten, ist eine kontinuierliche und jederzeit verfügbare Mindestgrundlast erforderlich. Es muss ermittelt werden, wie viel Grundlastkapazität erforderlich ist, um andere Quellen, die keine Grundlast darstellen, zu unterstützen und eine Instabilität des Netzes über das Jahr 2030 hinaus zu vermeiden. Ein weiterer Anstieg der Durchdringung des Stromnetzes mit erneuerbaren Energien ohne eingehende Studien zur Quantifizierung der erforderlichen Durchdringung, die unter Berücksichtigung der lokalen Bedingungen realisierbar ist, kann jedoch zu einer Instabilität des Netzes und damit zu anhaltenden Lastabwürfen und schliesslich zu Stromausfällen führen.

Viele europäische Länder verfügen über Netze, die mit ihren Nachbarländern verbunden sind, was ihnen Flexibilität und Unterstützung bei der Netzstabilisierung bietet. Studien zeigen zum Beispiel, dass Länder wie Deutschland und andere mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien immer noch auf Grundlastkapazitäten wie Kohle und/oder Kernkraft im Inland und/oder im Ausland angewiesen sind, um die Nachfrage bei ungünstigen Wetterbedingungen zu decken. Südafrika hingegen hat nur begrenzten oder gar keinen Zugang zu alternativen Stromlieferungen aus nahe gelegenen Ländern, mit Ausnahme des Staudammprojekts Grand Inga in der Demokratischen Republik Kongo (das erst noch realisiert werden muss) und der Cahora-Bassa-Talsperre in Mosambik, um die Netzstabilität zu gewährleisten, und das ist eindeutig unzureichend. Andere Initiativen wie der Southern African Power Pool [gemeinsamer Strommarkt, der von den Staaten des südlichen Afrikas 1995 gegründet wurde] müssen noch weiter ausgebaut werden, damit die Region der Southern African Development Community in der Lage ist, die Energie über zusammengeschaltete Netze erfolgreich zu teilen.

Der Umstieg von einer grundlastfähigen und regelbaren Energiequellen in Form von Kohle auf fluktuierende Energiequellen wie Wind- und Sonnenenergie ohne Berücksichtigung der Auswirkungen auf die südafrikanische Wirtschaft, den sozialen Zusammenhalt und die Netzstabilität wäre kurzfristig eine Selbstsabotage und langfristig Selbstmord.

Daher wird die Nutzung der reichlich vorhandenen Uranressourcen sicherstellen, dass Südafrika über genügend Energie verfügt, um die Energieversorgungssicherheit zu gewährleisten, welche die Souveränität des Staates weiterhin stärken und garantieren wird. Ich bin sogar der Meinung, dass Uran dringend zu einer strategischen Ressource gemacht werden muss, um die künftige Versorgung mit nuklearem Brennstoff zu sichern – sei es vor Ort, auf dem Kontinent oder weltweit. Dies, weil die Kernkraft der Weg in die Zukunft ist. Wenn wir sie ignorieren, ist das zu unserem eigenen Schaden.



Südafrika besitzt – wie andere Länder Afrikas – bedeutende Uranvorkommen. Typischerweise wird Uran in Südafrika als Nebenprodukt aus dem Gold- und Kupferbergbau erhalten. Grosse Vorkommen an Gold und Uran liegen vor allem im Witwatersrand-Becken südwestlich von Johannesburg. Im Bild ein hochgradiges Golderz aus der Blyvooruitzicht-Goldmine in der Nähe von Johannesburg. Das Erz enthält viel Uran in Form von Uraninit (Pechblende, Urandioxid), das eine schwarze Farbe und einen fettigen Glanz aufweist.
(Foto: Carbon Leader Gold Ore von James St. John / Flickr, CC BY 2.0)

Umweltschutz

Stabile und effiziente Grundlastenergie in Form von Kernenergie kann in Verbindung mit anderen Formen erneuerbarer Energien genutzt werden, indem man ihre Lastfolgefähigkeit ausnutzt, bei der die Energieabgabe

so angepasst wird, dass sie niedriger ist, wenn der Wind stark weht, und schnell hochgefahren wird, um die benötigte Energie zu erzeugen, wenn der Wind nicht weht, aber mehr Energie benötigt wird. Diese Fähigkeit ist natürlich besonders bei kleinen, modularen Reaktoren (Small Modular Reactors, SMRs) und anderen neuen Kernenergietechnologien gegeben, bei denen die Lastnachführung viel besser funktioniert als bei anderen Energiequellen, wie z. B. bei bestehenden Kohlekraftwerken, die unter stark schwankenden Bedingungen nicht gut arbeiten.

Die Energiedichte von nuklearem Brennstoff ist hoch, sodass er viel grössere Energiemengen freisetzen kann als die Verbrennung von Kohle oder Gas. Man muss zugeben, dass zur Verringerung kohlenstoffhaltiger Emis-

sionen auf der Stromversorgungsseite die nukleare Stromerzeugung sowie die erweiterte Nutzung von Sonnenlicht, Wind und anderen erneuerbaren Energiequellen mit der Verfügbarkeit massiver Speicher (d. h. mögliche flexible Optionen wie Batterien, deren Kosten laut Forschung noch recht hoch sind) und ohne Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen als Backup in Betracht gezogen werden sollten. Solar- und Windenergieanlagen stossen bei der Stromerzeugung kaum CO₂ aus, ebenso wenig wie die Stromerzeugung aus Kernenergie. Um jedoch die gleiche Strommenge zu erzeugen wie ein einzelner Kernreaktor (d. h. 1000 MW_e), der eine kleine Landfläche einnimmt, benötigt man eine riesige Fläche, die sich in der Regel in einer abgelegenen Gegend befindet, in der es keine Netzinfrastruktur gibt, was zu erheblichen Baukosten führt.

Studien haben gezeigt, dass der schnellste Weg zu einer erschwinglichen, zuverlässigen und kohlenstoffarmen Energiezukunft einen erheblichen Anteil an Kernenergie erfordert, da sie rund um die Uhr kohlenstoffarmen Strom erzeugen kann und die ideale Ergänzung zu Wind- und Solarenergie darstellt.

Lebensgrundlagen

Die Lebensdauer eines Kernkraftwerks beträgt 60 Jahre und ist damit in der Regel dreimal so lang wie die von Wind- oder Solarenergieanlagen mit etwa 20 Jahren. Daher ist die Kernenergie erforderlich, um den Bedarf an langfristiger, stabiler Energie zu decken, während Wind- und Solarenergie fluktuierenden Strom auf mittlere bis lange Sicht liefern. Die Errichtung dieser Kernkraftwerke wird Arbeitsplätze im Fertigungs- und Konstruktionssektor während der Bauphase sowie Arbeitsplätze während des 60 bis 80 Jahre dauernden Betriebs, einschliesslich zusätzlicher Arbeitsplätze bei der Stilllegung, schaffen. Weitere wichtige langfristige Vorteile sind die Auswirkungen auf andere Branchen.

Mit dem Aufkommen von SMRs, die sich allerdings noch in der Entwicklung befinden, unterscheidet sich die Kernenergie von anderen Energiequellen insofern, als SMRs als Ersatz für die Stilllegung von Kohlekraftwerken betrachtet werden können, sofern die erforderlichen Vorschriften eingehalten werden. Dies liegt daran, dass diese Technologien standortflexibel sind und im Bau-



Die Energiewende in Südafrika muss gerecht ablaufen und auch die Auswirkungen auf die südafrikanische Wirtschaft, den sozialen Zusammenhalt und die Netzstabilität berücksichtigen. Im Bild Stromleitungen im Dorf Memelodi in der Nähe von Pretoria.
(Foto: Brandon Bean / Unsplash)

kastensystem errichtet werden können. Dadurch werden nicht nur Arbeitsplätze in den von der Kohle abhängigen Gemeinden erhalten und verhindert, dass sie zu Geisterstädten werden, sondern es würde auch zu wirtschaftlichem Wachstum in diesen Gebieten führen.

Es ist bekannt, dass sich zahlreiche Industrieländer auf eine kohlenstofffreie Wirtschaft zubewegen, um das Ziel für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen (United Nations Sustainable Development Goal, UN DSG) von Netto-Null bis 2050 zu erreichen. Es ist jedoch auch erwähnenswert, dass es kein Land gibt, das gezeigt hat, dass die Industrialisierung durch den Einsatz erneuerbarer Technologien und flexibler Stromerzeugung unter Ausschluss fester Grundlastkapazitäten erreicht werden kann. Wenn wir diesen Weg einschlagen, wird Südafrika zu einem experimentellen Versuchskaninchen – doch zu welchem Preis?

Ganz einfach: eine gerechte Energiewende muss gelingen!

Der Beitrag ist erstmals im Newsletter «Voice of» der «Nehawu Nuclear Energy Workers» (NNEWO) erschienen und wurde mit freundlicher Genehmigung der Chefredaktorin Princess Mthombeni reproduziert.

Naphtali Mokgalapa ist Ingenieur für nukleare Sicherheit bei der South African Nuclear Energy Corporation (NECSA), einem staatlichen Forschungs- und Entwicklungszentrum im Bereich Kernenergie. Aktuell ist er der stellvertretende Projektleiter für den neuen «Multipurpose Nuclear Research Reactor (MRP)», der den 56 Jahre alten südafrikanischen Safari-1-Forschungsreaktor ersetzen soll. Mokgalapa absolvierte ein Bachelorstudium in Physik an der Universität Kapstadt. Für sein Masterstudium und das Doktorat in Nukleartechnik ging er an die University of Missouri in Columbia, USA. Geforscht hat er im Bereich Kernreaktorphysik und sich dabei mit Analysen und Sicherheitsberechnungen beschäftigt. Zusammen mit Princess Mthombeni gründete er im Oktober 2021 Africa-4Nuclear. Dies ist eine innovative Informations- und Wissensplattform, die unter anderem auf Social-Media-Kanälen aktiv ist.

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

Rot-grünes Dilemma

Die Reaktionen von Umwelt- und Klimaschützern auf den Taxonomie-Entscheid des EU-Parlaments beschäftigen uns auch an dieser Stelle. Balthasar Glättli hat sich ebenfalls dazu geäußert. Als Präsident der Grünen Partei Schweiz ist er zwar EU-freundlich eingestellt, gleichzeitig aber quasi von Amtes wegen gegen Kern- und Gaskraftwerke. «Dieser Entscheid ist verheerend, kurz-sichtig und verantwortungslos – nicht nur fürs Klima, sondern auch für die Sicherheit und für den Frieden», wird Glättli denn auch vom News-Portal «nau.ch» zitiert. Und weiter: «Atomkraft und fossiles Gas sind keine nachhaltigen Energien: Die Verbrennung von fossilem Gas heizt das Klima weiter an, hochradioaktiver Atom-müll wird Mensch und Umwelt noch Jahrhunderte belasten. Und beides erhöht unsere Abhängigkeit von Staaten wie Russland und finanziert deren Kriege.»

Entsprechend verlangen Glättli und seine Partei einen Schweizer Sonderweg bei der Definition von nachhaltigen Investitionen: «Wir Grüne fordern neben einem griffi-

gen Label zudem ein sofortiges Finanzierungsverbot für besonders klimaschädliche Tätigkeiten wie etwa die Förderung von fossilen Brenn- und Treibstoffen wie Öl oder Gas aus Teersand und Fracking.» Die Haltung der Grünen ist insofern nichts als konsequent. Oder doch nicht? Quer in der Landschaft steht nämlich nach dem Entscheid des EU-Parlaments das Postulat der sozialdemokratischen Nationalrätin Céline Widmer vom 17. Juni 2021: «Übernahme der EU-Taxonomie für nachhaltige Investitionen». Mitunterzeichnet haben die Forderung unter anderem so ausgesprochene Kernenergiegegnerinnen und -gegner wie Martina Munz und Eric Nussbaumer – sowie Regula Rytz, Glättlis Vorgängerin im Präsidium der Grünen.

Das Postulat war beim Verfassen dieses Beitrags vom Bundesrat zur Ablehnung empfohlen worden, in den Räten jedoch noch nicht behandelt. Wir sind gespannt, wie es mit dem Geschäft weitergeht. (*M.Re. nach nau.ch und Curia Vista, 10. August 2022*)

4. Forums-Treff 2022

Thema: «Versorgungssicherheit»
 Referat von Werner Luginbühl, ElCom
 Dienstag, **15. November**, ab 17.10 Uhr
 Kultur- und Kongresshaus Aarau

Weiterbildungskurs des Nuklearforum Schweiz

«Herausforderungen in der Kerntechnik – Wissen erhalten und Nachwuchs fördern»

Donnerstag, **29. November**
 Trafo Baden



Foto: Nuklearforum Schweiz

Nuklearforum auf Twitter

Das Nuklearforum betreibt einen eigenen Kanal auf Twitter. Hier sind die aktuellsten Nachrichten und die neuesten Tweets zugänglich. Mithilfe der Twitterlisten steht ein direkter Zugang zur weltweit twitternden Nuklearbranche offen. In der Liste «Nuclear News» beispielsweise erscheinen alle Tweets der relevanten englischsprachigen Nachrichtenportale der nuklearen Branche. Besitzer eines eigenen Twitter-Accounts können diese mit einem Klick direkt abonnieren.

www.twitter.com/kernenergienews

Neue Folge des Podcasts «NucTalk»

In der achtzehnten NucTalk-Folge erklärt der Kernphysiker Walter Rüegg, was Radioaktivität ist, wo sie vorkommt und wie sie auf Menschen wirken kann. Wir reden über Strahlenschutz und Grenzwerte, über Reaktorunfälle sowie die heutige Situation in Tschernobyl und Fukushima.

www.nuklearforum.ch/de/podcasts

Besuch des SRF-Studios am Leutschenbach

Erhalten Sie einen einmaligen Einblick in das SRF-Studio am Leutschenbach in Zürich. Der diesjährige Mitgliederanlass findet am Dienstag, **13. Dezember** ab 18 Uhr statt.



Foto: SRF / Oscar Alessio

38th Short Course on Multiphase Flows

Vom **13. bis zum 17. Februar 2023** finden an der ETH Zürich wiederum Kurse zum Thema «Modelling and Computation of Multiphase Flows» statt. Die Kurse bieten umfassende, aufeinander abgestimmte Vorlesungen. Sie richten sich an praktizierende Ingenieurinnen und Ingenieure, wie auch an Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die einen konzentrierten und kritischen Einblick in das aktuelle Grundlagenwissen der Mehrphasenströmung, der Modellbildung und der angewandten numerischen Techniken erhalten möchten.

<https://ns-ecmfl.ethz.ch/education/short-course-mpf.html>

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 vier Mal jährlich.

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

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

