

Dezember 2022

BULLETIN 4



Nachwuchsförderung ist ein zentrales Anliegen

Seite 31

Es gibt viele Gründe auf die Kernenergie zu setzen

Seite 2

Langzeitbetrieb und Klimaziele

Seite 11

Polen treibt Kernenergiepläne voran

Seite 20

Inhalt

Editorial

Kernenergie wichtig für eine kosteneffiziente Energiezukunft 1

Im Gespräch mit ...

Die Rolle der Kernenergie bei der Dekarbonisierung 2

Hintergrundinformationen

NEA-Studie: Mit Kernenergie wird das Erreichen der Klimaziele für die Schweiz günstiger 11

Französischer Nuklearstrom ist sehr klimafreundlich 16

Polens Kernkraftwerkspläne 20

Klartext

Von Etikettenschwindeln und Mogelpackungen 25

Nukleare News

Schweiz 27

International 28

Kolumne

Aus- und Weiterbildung in der Kerntechnik – unabdingbar für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb 31

Hoppla

Export der Energiestrategie 33

Unser Lesetipp

Wenn Alltagshumor auf Kernspaltung trifft 34

Pinwand

36

Kernenergie wichtig für eine kosten-effiziente Energiezukunft



Lukas Aebi

Geschäftsführer des
Nuklearforums Schweiz

Liebe Freunde der Kernenergie

Das Kernenergiejahr 2022 neigt sich langsam dem Ende zu. Grund genug für uns, noch einmal so richtig Gas zu geben. Gemäss den neuesten Meldungen aus dem Bundesamt für Energie soll die Strommangellage im Winter doch nicht so dramatisch sein, wie zunächst angenommen. Die von den Bundesbehörden Anfang November veröffentlichte Studie zeigt aber, was wir schon lange wissen: Gerade im Winter sind die Schweizer Kernkraftwerke ein unabdingbarer Pfeiler einer sicheren Stromversorgung.

Doch nicht nur unsere Bundesbehörden beschäftigen sich mit der Kernenergie in der Schweiz. Wir haben dazu mit Dr. Henry Paillère von der Internationalen Atomenergie-Organisation in Wien gesprochen, der die Abteilung für Planungs- und Wirtschaftsstudien leitet. Er zeigt uns auf, wie die Zukunft der Kernenergie in der Schweiz aussehen könnte und was andere Länder bei der Planung ihrer Stromversorgung besser machen. Ausserdem besprechen wir die neueste Studie der Nuclear Energy Agency (NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD), die sich mit den Systemkosten eines klimaneutralen Energiesystems für die Schweiz auseinandersetzt. Was wir schon lange wussten, bestätigt uns nun auch die OECD: die kosteneffizienteste Option zum Erreichen des Netto-Null-Ziels der Schweiz im Jahr 2050 setzt den Weiterbetrieb der beiden jüngsten Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt voraus. Wenn wir also möglichst kosteneffizient zum Ziel Netto-Null gelangen wollen, setzen wir auch weiterhin möglichst auf Kernenergie. Und seien wir ehrlich: Die dadurch freiwerdenden Mittel können wir auch anderswo ziemlich gut gebrauchen. Wir haben den neuen OECD-Bericht im Bulletin natürlich für Sie eingehend analysiert.

Überdies finden Sie einen ausführlichen Artikel zur Lebenszyklus-Analyse französischer Kernkraftwerke. Die EDF hat dazu bereits im Sommer eine umfassende Studie publiziert, die einmal mehr die Umweltfreundlichkeit der Kernenergie zeigt und den gesamten Lebenszyklus, vom Uranabbau über Stromproduktion bis hin zur Endlagerung untersucht hat. Sie sehen: Mit unserem neuesten Bulletin sind Sie voll ausgerüstet für die aktuelle Klima- und Versorgungsdebatte.

Zu guter Letzt wagen wir noch einen kurzen Ausblick: 2023 werden Kernenergie-themen aktueller denn je sein. Das Nuklearforum wird auch im neuen Jahr die Debatte verfolgen und natürlich mitprägen. Ausserdem verstärken wir unsere Bemühungen in der Nachwuchsförderung. Wenn die Schweiz weiterhin auf Kernkraft setzen will, braucht es klarerweise auch künftige Generationen von fähigen Berufsleuten, die etwas von der Materie verstehen. Kraftwerksleiter Herbert Meinecke legt dazu seine Meinung dar. Es stehen also auch grosse Herausforderungen an. Gehen wir sie im neuen Jahr gemeinsam an!

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen eine spannende Lektüre!

Die Rolle der Kernenergie bei der Dekarbonisierung



Dr. Henri Paillère

Leiter der Planning and Economic Studies Section der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO)

Das Nuklearforum Schweiz hat mit Henri Paillère von der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) über die Rolle und die Zukunft der Kernenergie bei der Stromerzeugung weltweit, über die Wichtigkeit der Diversifizierung und über die vielseitigen Tätigkeiten der IAEO gesprochen. Kleine, modulare Reaktoren (Small Modular Reactors, SMR) werden dabei an Bedeutung gewinnen.

Viele Länder beabsichtigen, ihre Wirtschaft, ihren Energie- und ihren Verkehrssektor zu dekarbonisieren. Welche Rolle spielt dabei die Kernenergie bzw. welche Rolle kann sie spielen?

Zunächst möchte ich daran erinnern, dass der Energiesektor eine der Hauptquellen für Treibhausgasemissionen ist. Nach Angaben der Internationalen Energieagentur ist der Energiesektor für etwa drei Viertel der gesamten Treibhausgasemissionen weltweit verantwortlich. Von den 198 Unterzeichnerstaaten des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) haben 194 auch das Pariser Abkommen unterzeichnet. Ich denke also, dass eine überwältigende Mehrheit der Länder die Absicht hat, ihr Energiesystem zu dekarbonisieren. Wie sie das machen wollen, ist vielleicht der schwierigste Teil des Problems. Klar ist jedoch, dass man zur Dekarbonisierung des Energiesektors zuerst den Stromsektor dekarbonisieren muss, denn der Stromsektor wird trotz aller Bemühungen der letzten zwei bis drei Jahrzehnte immer noch von fossilen Brennstoffen dominiert. 62% der weltweiten Stromerzeugung erfolgt immer noch mit fossilen Brennstoffen.

Die erste Priorität besteht also darin, den Stromsektor zu dekarbonisieren und die Wirtschaft so weit wie möglich zu elektrifizieren, zum Beispiel den Verkehr, die Heizung und Kühlung von Gebäuden und einige industrielle Prozesse. Nicht alle Sektoren können elektrifiziert werden und es gibt solche, für die es spezielle Technologien und vielleicht alternative kohlenstoffarme Brennstoffe wie Wasserstoff braucht. Auch einige industrielle Anwendungen wie das Herstellen von Zement und Stahl, aber auch der Schwerlastverkehr, der Seeverkehr und der Luftverkehr werden andere kohlenstoffarme Kraftstoffe als die Elektrizität benötigen.

Der Anteil der Kernenergie an der weltweiten Stromerzeugung liegt bei knapp 10%. Sie liefert etwas mehr als ein Viertel der gesamten kohlenstoffarmen Elektrizität. In den Mitgliedstaaten der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) ist Kernenergie immer noch die grösste Quelle für kohlenstoffarmen Strom und sie liegt weltweit an zweiter Stelle hinter der Wasserkraft. Dies, obwohl der Beitrag der gesamten nuklearen Stromerzeugung im letzten Jahrzehnt nicht wirklich signifikant gestiegen ist. Klar ist auch, dass wir für die Dekarbonisierung unserer Volkswirtschaften bis zur Mitte des Jahrhunderts riesige Mengen an sauberem Strom benötigen werden. Der

Strombedarf wird sich verdoppeln oder noch mehr steigen und es werden zudem riesige Mengen an Wasserstoff benötigt. Einige politische Entscheidungsträger und Länder glauben, dass dies allein mit erneuerbaren Energien und Energiespeicherung erreicht werden kann. Immer mehr Experten sagen aber, dass es schwierig ist, dies allein mit erneuerbaren Energien zu erreichen, und dass wir für Netto-Null höchstwahrscheinlich alle kohlenstoffarmen Energiequellen benötigen werden, einschliesslich der Kernenergie. Dr. Fatih Birol, der Leiter der Internationalen Energieagentur, hat in den letzten Jahren mehrfach betont, dass die Energiewende ohne Kernenergie viel schwieriger und kostspieliger wird.

Ein weiterer wichtiger Aspekt, dessen sich die politischen Entscheidungsträger bewusst sein sollten, ist, dass es auch riskanter wäre, die Energiewende nur mit erneuerbaren Energien anzugehen. Dann ist da noch die Frage der kritischen Rohstoffe wie Silizium und Kupfer, die für Fotovoltaik, Windkraft, Batterien usw. benötigt werden. Diese Mineralien kommen nur in begrenztem Mass vor und sie werden nicht unbedingt auf die umweltfreundlichste Weise abgebaut und verarbeitet. Einer der Vorteile der Kernenergie ist, dass sie von den kohlenstoffarmen Technologien den geringsten Bedarf an diesen kritischen Rohstoffen aufweist. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Flächennutzung: Für die Nutzung von Wind- und Solarenergie wird viel Land benötigt, wohingegen die Kernenergie eine so dichte Energiequelle ist, dass sie nur sehr wenig Fläche beansprucht.

Und dann sind da noch die Kosten: Wir haben gesehen, dass die Kosten für Fotovoltaik und Windenergie in den letzten zehn Jahren erheblich gesunken sind, sodass die reinen Gesteungskosten in einem Solarkraftwerk oder Windpark sicherlich niedriger sind als für Strom aus einem neuen Kernkraftwerk. Aber das ist nur ein Teil der Geschichte, denn es kommt stark darauf an, wie man all seine kohlenstoffarmen Quellen in sein Energiesystem integriert. Die Systemkosten müssen ebenfalls berücksichtigt werden: die Netzkosten und Kosten für die notwendige Regelleistung mit dem Bereithalten von Reservekraftwerken aufgrund der variablen/fluktuierenden Stromerzeugung der erneuerbaren Energien. Kernkraftwerke produzieren hingegen zuverlässig und vorhersagbar praktisch das ganze Jahr über – Tag und Nacht –

Grundlast und tragen zur Stabilität des Stromnetzes bei. So können Kernkraftwerke durch einen flexiblen Betrieb oder im Lastfolgebetrieb ihre Produktion an die schwankende Stromnachfrage oder an die fluktuierende Stromerzeugung der erneuerbaren Energien anpassen. In einem System nur mit erneuerbaren Energien muss man neue erneuerbare Energien übermässig ausbauen, man braucht Energiespeicher und Technologien, die Flexibilität bieten. In der Vollkostenrechnung wird dieses System teurer sein als ein System mit weniger erneuerbaren Energien, dafür aber mit kohlenstoffarmer Grundlasterzeugung aus Kern- oder Wasserkraft.

Sie haben das Konzept einer ausschliesslich aus erneuerbaren Energien bestehenden Stromversorgung erwähnt. Die Befürworter von erneuerbaren Energien sind meist gegen die Kernenergie. Welche weiteren Nachteile neben hohen Kosten hat ein solches System? Und halten Sie ein Stromsystem ohne Grundlasterzeugung überhaupt für machbar?

Für die benötigte Strommenge, vor allem, wenn auch Wasserstoff aus erneuerbaren Energien erzeugt werden soll, braucht man riesige Mengen an Wind- und Solarenergie. Ein solches System benötigt viel Land, Beton, Stahl und kritische Rohstoffe.

Ob es ohne Grundlast machbar ist oder nicht: Als Ingenieur bin ich immer an neuen Entwicklungen und Innovationen interessiert, wie zum Beispiel der virtuellen Schwungmasse, die die Trägheit grosser Wärmekraftwerke basierend auf Kernkraft oder Kohle im System ersetzen könnte. Ich verstehe, dass es Fortschritte gibt, aber ich denke, dass es für Länder mit einer energieintensiven Wirtschaft, die rund um die Uhr zuverlässige Energie benötigt, trotzdem sinnvoll ist, Grundlastkraftwerke im System zu haben.

Eine Randbemerkung: Die IAEA ist bestrebt, einige Länder in Afrika als Mitglieder zu gewinnen, welche in die Kernenergie einsteigen oder diese als Option in Betracht ziehen. Einer der Beweggründe dazu, die in der Diskussion mit diesen Ländern auftauchten, war eine zuverlässige Grundlastversorgung, um die Industrie und Wirtschaft mit Strom zu versorgen. Ich halte es für sehr wichtig, diese saubere Grundlast mit der Idee zu verbin-

den, damit eine zuverlässige Wirtschaft und industrielle Dienstleistungen usw. zu ermöglichen.

Was wir seit über einem Jahr aufgrund der Energiekrise in Europa sagen, ist, dass es eine Wiederentdeckung der Eigenschaften gibt, welche die Kernenergie in den 1970er-Jahren zu einer attraktiven Option machten: Versorgungssicherheit und stabile Produktionskosten. Damit will ich nicht sagen, dass die Kernenergie unbedingt billig ist, aber zumindest sind ihre Produktionskosten über die Zeit stabil. Sie hängen nicht so sehr von den Brennstoffpreisen usw. ab. Die politischen Entscheidungsträger entdecken also diese Eigenschaften der Kernenergie wieder, und das ist auch der Grund für das neue Interesse an der Kernenergie.

Auf der anderen Seite will Deutschland alle seine Kernkraftwerke abschalten. Gleichzeitig werden jedoch stillgelegte kostenintensive Kohlekraftwerke wieder in Betrieb genommen, um den Mangel an Gas auszugleichen. Und die Behörden reden auf höchster Ebene immer noch von der Kernenergie als einer Hochrisikotechnologie. Was sagen Sie dazu?

Ich höre dieses Argument immer wieder, aber ich denke, es ist wichtig, sich die Daten anzusehen. Und diese Daten sind nicht unbedingt sehr intuitiv, weil jeder Atomunfall und die Art und Weise, wie in der Vergangenheit darüber berichtet wurde, in den Köpfen der Menschen hängen bleibt. Aber Leute, die sich die Daten angeschaut und die Zahl der Todesfälle pro erzeugter Kilowattstunde Strom berechnet haben – wie zum Beispiel ein hervorragendes Team am Paul Scherrer Institut in der Schweiz –, kommen zum Schluss, dass die Kernkraft eine der sichersten Technologien ist. Aber ich würde sagen, dass dies in der breiten Öffentlichkeit nicht unbedingt bekannt ist. Andererseits ist Kohle eine der Technologien mit den meisten Todesopfern im Zusammenhang mit dem Bergbau. Erst vor wenigen Tagen wurde über Unfälle in der Türkei berichtet. Ich denke, weltweit kommen jedes Jahr Hunderte, wenn nicht Tausende von Bergleuten ums Leben. Und wir verbinden Kohlekraftwerke nicht unbedingt mit einer tödlichen Gefahr. Wir wissen aber, dass sie schlecht für die Umwelt sind, da wir uns die Emissionen, die Verschmutzung und das CO₂ vorstellen können. Aber diese Todesfälle sind

nicht im Bewusstsein der Öffentlichkeit. Daher denke ich, dass es notwendig ist, die Fakten darüber zu vermitteln, wie es bei einer Technologie in Bezug auf die Betriebssicherheit und alle vor- und nachgelagerten Todesfälle aussieht.

Zurück zur Energieversorgungssicherheit: Können wir es uns überhaupt leisten, im Hinblick auf die Versorgungssicherheit auf die Kernenergie zu verzichten?

Ich möchte nicht derjenige sein, der die Entscheidung trifft, auf die Kernenergie zu verzichten. Die IAEO befürwortet sicherlich nicht, dass jedes Land auf Kernenergie umsteigen sollte. Aber für die Länder, die das wollen, ist die Agentur natürlich da, um sie zu unterstützen. Jedes Land hat das Recht, seine eigenen Energieentscheidungen zu treffen. Länder, die einen grossen Industriesektor besitzen, müssen diesen zuverlässig rund um die Uhr mit Energie versorgen können. Und dann ist da noch die Frage der Klimaresistenz, ein Thema, das immer wieder in den Nachrichten auftaucht: die Auswirkungen des Klimawandels auf die Energieinfrastrukturen. Jede Technologie ist bis zu einem gewissen Grad anfällig für extreme Wetterereignisse. Ich denke, ein diversifiziertes Energiesystem mit Kernenergie ist wahrscheinlich zuverlässiger und widerstandsfähiger als ein System, das nur auf erneuerbaren Energien basiert. Variable erneuerbare Energien wie Wind und Sonne sind wetterabhängige Technologien, Wasserkraft weniger. In Europa gab es Mitte Sommer 2021 eine so genannte Windflaute von zwei bis drei Wochen mit sehr wenig Wind in der Nordsee – dort wo viele Offshore-Windturbinen stehen und viele weitere geplant sind.

Deshalb denke ich, dass es teurer und riskanter wäre, auf eine Grundlaststromquelle wie die Kernkraft zu verzichten. Ich denke auch, dass dies mehr diskutiert und bekannter gemacht werden muss. Die Länder, die über grosse Mengen an Wasserkraft verfügen, müssen nicht unbedingt auf die Kernenergie setzen, obwohl sich der Klimawandel auch stark auf die Wasserkraft auswirkt, sei es in Norwegen, China oder Südamerika, in Brasilien und Argentinien und weiteren Ländern. Meiner Meinung nach ist die Diversifizierung also eine wichtige Dimension bei der Planung eines zuverlässigen Energiesystems.

Würden Sie sogar so weit gehen zu sagen, dass Kernkraftwerke dazu beitragen, erneuerbare Energien mit ihrer schwankenden Erzeugung besser integrieren zu können?

Ja, das ist eine Botschaft, an die wir bei der IAEO glauben. Mehr als ein Jahrzehnt lang wurde Gas als der perfekte Partner für erneuerbare Energien dargestellt. Ich erinnere mich an eine Gipfelkonferenz von Bloomberg New Energy Finance in London, auf der es um Gas und erneuerbare Energien für die Energiewende ging. Es gab eine Podiumsdiskussion, und ich gehörte zu den Bösen, denn ich war der Vertreter der Kernenergiebranche wie auch der Vertreter aus der Kohlebranche neben mir. Ich fragte mich, warum die Kernenergie in der öffentlichen Wahrnehmung nicht zu den Guten zählt. Ich denke, die Ereignisse in der Energiekrise zeigen, dass Gas keine Übergangstechnologie ist, kein idealer Partner für erneuerbare Energien und keine kohlenstoffarme Technologie. Natürlich hat es viele betriebliche Eigenschaften, die es in Bezug auf Flexibilität und Kosten attraktiv machen, aber langfristig denke ich, dass ein System mit Kernenergie und erneuerbaren Energien mit irgendeiner Form von Energiespeicherung oder Wasserstoffproduktion – die als eine Art Energiespeicherpuffer dienen kann – wahrscheinlich ein robustes und kohlenstoffarmes Energiesystem ist.

In vielen Ländern werden die Reaktoren jetzt älter, gehen in den Langzeitbetrieb und werden in absehbarer Zeit stillgelegt. Sollten diese Länder jetzt Reaktoren der Generation III oder III+ bauen, oder würden Sie ihnen raten, zu warten, bis die SMR marktreif sind, oder sogar auf die Generation IV zu warten?

Nein, es gibt keinen Grund zu warten. Zunächst einmal finde ich es gut, dass es ein breites Angebot an Nukleartechnologien für verschiedene Netzgrößen oder verschiedene Marktsegmente usw. gibt. Ich denke aber nicht, dass wir warten müssen, bis die nächste Technologie auf den Markt kommt, denn wir haben bereits jetzt eine Reihe von Technologien. Die ersten grossen Reaktoren der Generation III waren ziemlich schwierige Projekte und sehr kostspielig. Aber ich denke, dass die Technologie jetzt etabliert und verfügbar ist und innerhalb kürzerer Bauzeiten eingeführt werden kann als bei den ersten Reaktoren dieser Generation.

Es gibt zudem Pläne für eine Menge kleiner, modularer Reaktoren. Die IAEO veröffentlichte im September 2022 eine neue Broschüre, in der über 80 SMR-Konzepte vorgestellt werden, die sich in der Entwicklung befinden. Ich nehme an, dass die meisten von ihnen nie verwirklicht werden und nur einige wenige wahrscheinlich das kommerzielle Stadium erreichen und erfolgreich sein werden. Aber sie sind interessant und bieten einige Eigenschaften, die grössere Reaktoren nicht aufweisen. In Ländern mit sehr kleinen Netzen kann man zum Beispiel keinen grossen Reaktor bauen, sondern vielleicht einen SMR. Oft wird gesagt, dass SMR flexibler seien als grosse Reaktoren. Das halte ich für ein wenig übertrieben – in Frankreich beispielsweise gibt es Erfahrungen mit dem sehr flexiblen Betrieb grosser Reaktoren. Und alle europäischen Energieversorgungsunternehmen, die auf grosse Reaktoren setzen, haben diese Flexibilitätsanforderungen. Alle grossen Reaktoren können bei Bedarf flexibel betrieben werden, auch wenn dies aus wirtschaftlicher Sicht wahrscheinlich nicht die beste Lösung ist, da es sich um kapitalintensive Anlagen handelt, die man rund um die Uhr betreiben möchte.

Was aber meiner Meinung nach bei einer bestimmten Klasse von SMR wirklich interessant ist, ist die Tatsache, dass sie vielleicht ein wenig mehr als die grossen Reaktoren die Möglichkeit eröffnen, neben der Stromerzeugung auch weitere Teile der Energiesysteme zu dekarbonisieren, indem sie zum Beispiel Fernwärme liefern. Klar eignen sich für Fernwärme nicht nur SMR sondern auch grosse Reaktoren, wie ich es bei einem Besuch des Kernkraftwerks Beznau in der Schweiz miterlebt habe. Aber für andere Anwendungen wie Wasserstoff oder Hochtemperaturwärme für die Industrie gibt es eine bestimmte Klasse von SMR, sogenannte fortgeschrittene Reaktoren, die dies bieten können, und das werden wir sicher brauchen.

Ich behaupte, dass die Kernenergie eine der wenigen, wenn nicht die einzige Technologie ist, die in grossem Massstab alle drei kohlenstoffarmen sekundären Energieträger, die wir brauchen, produzieren kann: Strom, Wärme und Wasserstoff. Zunächst einmal sollten wir uns diese SMR als kohlenstoffarme Heizkessel vorstellen, und diese Wärme kann für viele Anwendungen genutzt werden. →

Zurück zur Fernwärme. Ich denke dabei an China, wo die Luftverschmutzung in den Städten des Nordens, die mit Fernwärme aus Kohle beheizt werden, ein Problem darstellt. In unseren Projekten wurden dort nun Kernreaktoren für Heizzwecke eingeführt, die saubere Fernwärme liefern und zur Verringerung der Umweltverschmutzung und der Kohlenstoffemissionen beitragen. Das ist ein Beispiel für eine Anwendung, bei der SMR relativ leicht eingesetzt werden könnten.

Wäre Ihr Ratschlag für ein Schwellenland oder die von Ihnen genannten Länder mit kleineren Netzen, zum Beispiel in Afrika, anders? Würde es für diese Sinn ergeben, auf SMR zu warten?

Tatsächlich hat Ägypten gerade den Bau eines grossen Kernkraftwerks bewilligt, und wir erwarten, dass Ghana in naher Zukunft etwas über sein Kernenergieprogramm und seine Baupläne bekannt geben wird. Wir haben mit Experten des ghanaischen Energieministeriums gesprochen: Das ghanaische Stromnetz hat eine Grösse von



Kwaku Afriyie, Minister für Umwelt, Wissenschaft, Technologie und Innovation von Ghana, und Hua Liu, stellvertretender Generaldirektor der IAEA und Leiter der Abteilung für Technische Zusammenarbeit, bei der Unterzeichnung des Country Programme Framework (CPF) für Ghana. Ein CPF ist der Referenzrahmen für die mittelfristige Planung der technischen Zusammenarbeit zwischen einem Mitgliedstaat und der IAEA. Ziel eines CPF ist, vorrangige Bereiche zu ermitteln, in denen der Transfer von Nukleartechnologie und Ressourcen der technischen Zusammenarbeit eingesetzt wird, um nationale Entwicklungsziele zu unterstützen. (Foto: Omar Yusuf / IAEA)

etwa 5 Gigawatt, und es gibt eine Regel, wonach keine Technologie eingeführt werden darf, die mehr als 10% der Grösse des Netzes ausmachen könnte. Das wäre also derzeit ein 500-MW-Reaktor. Man schätzt, dass das Netz bis zum Bau eines Reaktors in vielleicht 20 bis 30 Jahren 7 Gigawatt haben wird. 700 MW wären also die ideale Grösse für dieses Land. Aber das hängt auch von der Anbindung an das Stromnetz der Nachbarländer und deren Bedarf ab. Ein weiteres Beispiel ist Südafrika mit dem Kernkraftwerk Koeberg und seinen beiden 900-MW-Reaktoren. Südafrika ist ein grosses Land, das bei der Stromerzeugung zu einem grossen Teil auf Kohleverstromung setzt. Sie wollen die Stromerzeugung dekarbonisieren und von der Kohle wegkommen. Erneuerbare Energien werden natürlich eine Rolle spielen, aber vielleicht ist auch ein grosser Reaktor sinnvoll. Das hängt ebenfalls von der Netzinfrastruktur und der Verfügbarkeit von Standorten ab.

Sie haben die langen Bauzeiten und die hohen Anfangskosten erwähnt, beides beliebte Argumente gegen neue Kernkraftwerke. Und natürlich die Entsorgung der radioaktiven Abfälle, die angeblich noch nicht gelöst ist. Welche Verbesserungsmöglichkeiten sehen Sie da für die Zukunft und was könnte das grösste zu überwindende Hindernis beim Bau neuer Reaktoren sein?

Ich beginne mit dem einfachsten Teil, nämlich der Entsorgung der Abfälle. Darauf haben alle lange gewartet, aber die Lösung ist seit mehr als einem Jahrzehnt bekannt. Die geologische Tiefenlagerung ist die sicherste Lösung, und natürlich warten wir jetzt auf die Umsetzung dieser Lösung. Finnland ist hier führend, und ich freue mich schon auf die ersten Betriebsmonate, in denen hochradioaktive Abfälle in dieser Anlage entsorgt werden, und das ist etwas, was die Menschen wissen müssen. Das Argument, wir wüssten nicht, wie das Abfallproblem zu lösen sei, rührt daher, dass es uns nicht gelungen ist, die Fortschritte und die verschiedenen Initiativen in den einzelnen Ländern ausreichend zu erläutern und ins Bewusstsein der Öffentlichkeit zu rufen.

Nun zur Bauzeit: Wir haben die ersten Projekte dieser Art in Finnland, Frankreich und den USA, die viel Aufmerksamkeit auf sich ziehen, und es gibt Gründe, warum sich

diese Projekte verzögert haben. Aber wir dürfen nicht vergessen, dass es andere Länder auf der Welt gibt, die Reaktoren, einschliesslich Reaktoren der dritten Generation, in viel kürzerer Zeit gebaut haben. Dies, weil sie über Lieferketten verfügen, die an den Bau von Reaktoren gewöhnt sind oder weil sie seit mehr als einem Jahrzehnt nicht aufgehört haben, neue Kernkraftwerksblöcke zu bauen. Vielleicht wurde eine Auslegung gewählt, die etwas einfacher zu bauen war. Ich bestreite nicht, dass es bei einigen Bauprojekten zu erheblichen Verzögerungen kam, aber ich möchte Beispiele wie Japan in den 1990er-Jahren anführen. Dort wurden einige ihrer Siedewasserreaktoren in weniger als vier Jahren gebaut. Das ist ein ziemlicher Unterschied zu den allerdings komplexeren Generation-III-Projekten, wie dem EPR in Europa oder dem AP1000 in den USA. Aus diesen Projekten hat man viele Lehren gezogen, und wie ich höre, gibt es bereits Verbesserungen für die nächste Projektrunde im Hinblick auf schnellere Bauzeiten.

Ein wichtiger Aspekt, den wir in Grossbritannien mit dem Projekt Hinkley Point C sehen, ist die paarweise Errichtung von Kernkraftwerksblöcken. Dies hat sich bereits beim französischen Kernenergieprogramm als Vorteil erwiesen. Auch im chinesischen Programm wurde paarweise gebaut. Auf diese Weise können die Arbeiter vor Ort von einem Reaktorstandort zum nächsten wechseln, wenn sie fertig sind, und das trägt dazu bei, die Anlagen in viel kürzerer Zeit zu errichten.

Ein Grossteil der Kostensteigerungen ist auf Verzögerungen zurückzuführen und auch darauf, dass die Auslegung vielleicht nicht vollständig dokumentiert wurde. Aber sobald die ersten Projekte dieser Art abgeschlossen sind, können wir mit einem schnelleren und billigeren Bau dieser Reaktoren rechnen.

Lassen Sie uns kurz auf die SMR zurückkommen. Weltweit gibt es viele Aktivitäten zur Entwicklung von SMR. Welche Massnahmen ergreift die IAEA zur Unterstützung dieser Entwicklung, beispielsweise hinsichtlich Rechtsrahmen?

Die IAEA hat bei vielen Mitgliedstaaten ein grosses Interesse an SMR festgestellt, sowohl von Mitgliedstaaten, die bereits über Kernkraftwerke verfügen, als auch von

Mitgliedstaaten, die noch keine haben, den Einstieg in die Kernenergie aber in Betracht ziehen. 2021 haben wir die sogenannte SMR-Plattform innerhalb der Agentur eingerichtet. Dahinter steckten zwei Ideen: Zum einen geht es darum, die Arbeit innerhalb der Agentur, zwischen den verschiedenen Abteilungen, besser zu koordinieren. Dies ist notwendig, weil es einerseits eine Abteilung für Kernenergie gibt, die sich mehr mit der Technologie und den wirtschaftlichen Aspekten befasst. Und andererseits haben wir eine Abteilung für Sicherheit, die für die Sicherheitsaspekte von SMR zuständig ist. Wir wollen aber nicht nur die Arbeit intern besser koordinieren, sondern haben auch eine zentrale Anlaufstelle für die Mitgliedstaaten geschaffen. Letztere können sich via Plattform mit Fragen zu SMR an die Agentur wenden und erhalten darüber auch Antworten. Somit kann unsere Agentur auch dem Informations- und Unterstützungsbedarf der Mitgliedstaaten gerecht werden.

Ein weiterer Teil der Arbeit der Agentur im Bereich SMR liegt bei der Harmonisierung der Regulierungsaktivitäten von Aufsichtsbehörden und einer Standardisierung von industriellen Ansätzen. Dazu wurde von unserem Generaldirektor Anfang 2022 die «Nuclear Harmonization and Standardization Initiative» (NHSI) ins Leben gerufen, genannt «Nessie». Die Idee besteht darin, die Einführung von SMR zu beschleunigen, indem zwei Bereiche unterstützt werden: auf der einen Seite die Standardisierung der industriellen Aspekte verschiedener SMR wie Lieferkette, technische Codes und Normen, auf der anderen Seite die Harmonisierung der regulatorischen Anforderungen, die meiner Meinung nach eher erwartet wurde. Die weltweite Nuklearindustrie strebt seit Langem eine Harmonisierung der regulatorischen Anforderungen an, sodass eine in einem Land zertifizierte Auslegung in einem anderen Land schneller zertifiziert werden kann. Dies geschieht bereits in anderen Bereichen wie der Luftfahrt. Die Agentur anerkennt sehr wohl, dass jedes Mitgliedsland selbst die Verantwortung für die Zulassung und Genehmigung neuer nuklearer Aktivitäten hat. Ein Dialog zwischen den Aufsichtsbehörden kann jedoch dazu beitragen, die Zulassung und Genehmigung von SMR-Auslegungen zu beschleunigen. Diese Initiative ist also mit grosser Spannung erwartet worden.



Rafael Mariano Grossi, Generaldirektor der IAEA, hält seine Eröffnungsrede beim Kick-off-Meeting der Nuclear Harmonization and Standardization Initiative (NHSI) am Hauptsitz der Organisation in Wien. (Foto: Dean Calma / IAEA)

Viele Menschen sind sich der Aktivitäten der IAEO im Bereich der medizinischen und landwirtschaftlichen Nuklearanwendungen nicht bewusst, obwohl sie über eigene Labors verfügt und die Mitgliedstaaten bei der Suche nach Lösungen unterstützt. Dies zum Beispiel bei der Bekämpfung von Bananenkrankheiten. Auf welches dieser Projekte sind Sie besonders stolz?

Obwohl ich nicht in dieser Abteilung für nukleare Anwendungen arbeite, weiss ich sehr gut über diese Anwendungen Bescheid, die auf grosses Interesse bei den Mitgliedstaaten stossen. Auf der UN-Klimakonferenz COP27 in Ägypten war unsere Agentur mit einem Pavillon vertreten. Wir konnten sowohl über Aktivitäten aus dem Bereich der Kernenergie informieren als auch über nukleare Anwendungen und haben aus aktuellem Anlass

auch Arbeiten zur Anpassung an den Klimawandel vorgestellt. Sie haben Bananen erwähnt; davon abgesehen gibt es viele Anwendungen bei der Bekämpfung von Krankheiten in der Landwirtschaft, die seit einigen Jahren entwickelt werden, und bei denen unsere Agentur eine der sachkundigsten Organisationen der Welt ist.

Aber ich glaube, dass auch alle Gesundheitsprogramme, wie beispielsweise zur Krebsbehandlung, das Leben der Menschen sehr stark verändern werden. Einige dieser Technologien sind in den Industrieländern gut bekannt, aber in den Entwicklungsländern nicht zugänglich, also arbeiten wir daran, diese Technologien in den Gesundheitssystemen dieser Länder verfügbar zu machen. Es gibt ein Programm mit dem Namen «Rays of Hope» (Strahlen der Hoffnung), das sich mit der Krebsbehand-



Das Programm «Rays of Hope» hat zum Ziel, das gesamte Fachwissen der IAEO zu bündeln, um die Mitgliedstaaten bei der Diagnose und Behandlung von Krebs mit Hilfe der Strahlenmedizin zu unterstützen. Am 13. Juni 2022 fand eine Rundtischkonferenz der Geber statt.
(Foto: Dean Calma / IAEO)

lung von Frauen speziell in Entwicklungsländern befasst. Ich denke, dass medizinische Anwendungen der Nuklear-technologie in der breiten Öffentlichkeit aber nicht so gut bekannt sind.

Wie sehen Sie die Zukunft der Kernenergie und inwieweit wirken sich die Ereignisse in der Ukraine darauf aus?

Wie ich bereits erwähnt habe, haben einige politische Entscheidungsträger die wichtige Rolle der Kernenergie bei der Sicherung der Energieversorgung wiederentdeckt. Die Ereignisse in der Ukraine verschärfen die Energiekrise. Dies könnte einer der Gründe dafür sein, dass eine Reihe von Ländern, die ihre Absicht zum Bau neuer Reaktoren bisher nicht so deutlich zum Ausdruck gebracht haben, dies nun doch ankündigen. Sei dies in Schweden oder in den Niederlanden und vielleicht auch in einigen baltischen Ländern. Ich denke also, dass die Krise zu der Erkenntnis geführt hat, dass die Kernenergie eine Rolle bei der Sicherung der Energieversorgung spielen kann. Dass dies mit stabilen Produktionskosten gelingt, ist ebenfalls ein sehr wichtiger Aspekt. Ich habe von Kollegen und Managern gehört, dass ein Land, das viel Kernkraft hat, sicherlich niedrige Strompreise hat. Aber das ist nicht die Art und Weise, wie die Strommärkte gestaltet sind. Die Preise werden von der Technologie mit den höchsten Grenzkosten bestimmt, unabhängig von den Produktionskosten. Eine weitere Frage, welche die politischen Entscheidungsträger meiner Meinung nach lösen müssen, ist die, wie wir ein Energiesystem schaffen können, in dem die von den Verbrauchern der Industrie gezahlten Preise eher die Produktionskosten des Strommix widerspiegeln als die einer bestimmten Technologie. *(Übersetzung aus dem Englischen M.Re.)*

Dr. Henri Paillère verfügt über mehr als 26 Jahre Erfahrung im Kernenergiesektor und arbeitet derzeit als Leiter der Planning and Economic Studies Section bei der IEAO, der er im Februar 2020 beitrug. Davor arbeitete Henri Paillère von 2011 bis 2019 bei der Kernenergie-Agentur (NEA) der OECD in Paris als Senior Analyst und stellvertretender Leiter der Abteilung für Entwicklung und Wirtschaft der Kerntechnik. Ausserdem war er Leiter des technischen Sekretariats für zwei internationale Initiativen, das Generation IV International Forum (GIF) und das International Framework for Nuclear Energy Cooperation (IFNEC). Von 2009 bis 2011 war er als F&E-Programmmanager bei der Alstom tätig und arbeitete davor während 13 Jahren beim französischen Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) in verschiedenen Positionen, unter anderem als europäischer Programmmanager in der Kernenergieabteilung der CEA. Paillère promovierte an der Université Libre de Bruxelles am Karman Institute for Fluid Dynamics (1995), erwarb einen Master of Science in Luft- und Raumfahrttechnik an der Universität Michigan (1991) und einen Abschluss als Ingenieur an der École Nationale supérieure de techniques avancées (1991).

NEA-Studie: Mit Kernenergie wird das Erreichen der Klimaziele für die Schweiz günstiger

Der Einbezug der Kernenergie in den Strommix der Schweiz wäre die kosteneffizienteste Lösung, um Netto-Null-Emissionen im Jahr 2050 zu erreichen. Eine Studie der Nuclear Energy Agency (NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) zeigt auf, dass dabei sowohl der Langzeitbetrieb der Schweizer Kernkraftwerke als auch mögliche Neubauten der Schweiz helfen könnten, die eigenen Klimaziele zu erreichen. Die ausschliessliche Stromerzeugung durch erneuerbare Energien und eine autarke Stromversorgung wären demnach teuer.

In der Studie «Achieving Net Zero Carbon Emissions in Switzerland in 2050: Low Carbon Scenarios and their System Costs» untersucht die NEA in verschiedenen Szenarien die jeweiligen Gesamtkosten und den Strommix zum Erreichen des «ambitionierten» Klimaziels der Schweiz. Die Szenarien unterscheiden sich vor allem durch die relativen Beiträge der bestehenden Kernenergie und der variablen erneuerbaren Energien (VRE) zur Stromversorgung im Jahr 2050.

Mit einem Elektrizitätssystem, das sich durch einen hohen Anteil an Wasserkraft, grosse Verbundkapazitäten mit den Nachbarländern und eine niedrige Kohlenstoffintensität auszeichnet, sei die Schweiz gut positioniert, um Netto-Null-Emissionen bis 2050 zu erreichen, so die Studie. Der genaue Weg zu diesem Ziel wird anhand von zwei Fragen untersucht. Erstens: Wie hoch sollte der Anteil der Kernenergie und der variablen erneuerbaren Energien wie Fotovoltaik und Wind im Energiemix sein? Zweitens: Welches Stromhandelsvolumen sollte die Schweiz mit ihren europäischen Nachbarn haben? Der Vergleich der Gesamtkosten eines reinen Erneuerbare-Energien-Szenarios mit den Kosten eines kombinierten Szenarios aus Kernenergie und erneuerbaren Energien steht im Mittelpunkt der NEA-Studie.

Die derzeitige Schweizer Energiestrategie zielt darauf ab, Netto-Null zu erreichen, indem man sich hauptsächlich auf die Fotovoltaik und einen geringeren Anteil an Windkraft als Ergänzung zur Wasserkraft und zu Stromimporten stützt, wobei davon ausgegangen wird, dass die Schweizer Kernkraftwerke vor 2050 abgeschaltet werden. Da die Schweizer Gesetzgebung jedoch die Betriebsdauer der bestehenden Kernkraftwerke nicht be-

grenzt, stellt sich die Frage: Welchen möglichen Beitrag könnten die beiden jüngsten Schweizer Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt leisten, um das Netto-Null-Ziel im Jahr 2050 auf kosteneffiziente Weise zu erreichen?

Das Schweizer Stromsystem

Die gegenwärtig niedrige CO₂-Intensität des Schweizer Elektrizitätssektors ist auf einen hohen Anteil an Wasserkraft (2021: 51%) und Kernenergie (2021: 29%) sowie auf einen geringen Anteil an Fotovoltaik und Windkraft im Erzeugungsmix zurückzuführen. Obwohl in der langfristigen Klimastrategie der Schweiz von einer 50-jährigen Betriebsdauer der Kernkraftwerke ausgegangen wird, ist in den politischen Diskussionen eine mögliche Ausweitung hin zu einer 60-jährigen Betriebsdauer der Kernkraftwerke festzustellen.

«Die Kernenergie kann zwar weniger flexibel Grundlast bereitstellen als Stauseen und Pumpspeicher, ermöglicht aber zusammen mit den flexibleren Wasserkraftressourcen der Schweiz einen Beitrag zum profitablen Stromhandel und zur Deckung der Schweizer Binnen nachfrage», schreibt die NEA.

Aktuell sei der Beitrag der erneuerbaren Energien ohne Wasserkraft an der gesamten Stromerzeugung bescheiden. Viele Szenarien, etwa die Referenzstudie «Energieperspektiven 2050+», sehen jedoch vor, dass erhebliche zusätzliche Mengen an variablen erneuerbaren Energiekapazitäten installiert werden müssen, um eine Netto-Null-Emission im Energiesektor der Schweiz zu erreichen. Das ZERO-Basisszenario der Energieperspektiven 2050+ schätzt daher, dass die Schweiz 44% des Stroms aus neuen erneuerbaren Energien im Jahr 2050 erzeugen soll. →

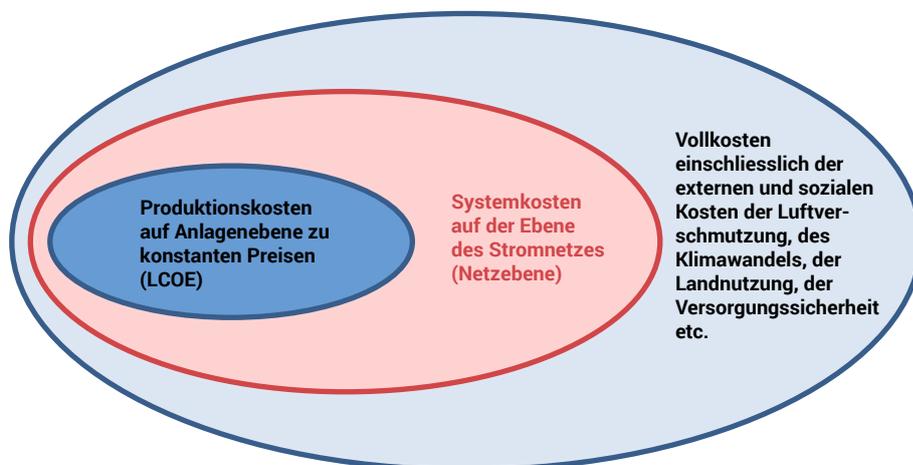
Obwohl die Schweiz nicht Teil der EU ist, ist sie eine wichtige Plattform für die europäischen Stromflüsse und den Handel. «Strategisch günstig gelegen, sind die flexiblen Wasserkraftressourcen der Schweiz ein wichtiges Element für den Ausgleich von Stromnachfrage und -angebot in den Nachbarländern», so die NEA.

Die grossen Wasserkraftkapazitäten der Schweiz und der hohe Verbundgrad für den Stromhandel bilden eine solide Grundlage für das Ziel, im Jahr 2050 keine Kohlenstoffemissionen mehr zu verursachen. Wasserkraft und Importe allein werden jedoch nicht ausreichen, um den gesamten Bedarf an kohlenstoffarmer Elektrizität zu decken, zumal Übertragungen aus anderen Sektoren wie Heizung und Verkehr die Schweizer Stromnachfrage bis 2050 deutlich erhöhen werden, urteilt die NEA. Die Studie geht für 2050 von einem Strombedarf in der Schweiz von etwas mehr als 80 TWh aus. Die energiepolitische Schlüsselfrage lautet daher: Welche kohlenstoffarmen Technologien werden den Rest der Stromversorgung sicherstellen?

Die Systemkosten von fünf Netto-Null-Szenarien im Jahr 2050 in der Schweiz

Ein wichtiger Aspekt bei der Beantwortung dieser Schlüsselfrage sind die Kosten einer stabilen Stromversorgung. Bei der Kostenbetrachtung legt die Studie die Gesamtkosten, d.h. die «Stromsystemkosten» einzelner Energieerzeuger zugrunde. Dazu zählen als grundlegendstes Element die Stromgestehungskosten (LCOE) auf der Ebene der Anlagen. Hinzu kommen die Systemkosten auf der Ebene des Stromnetzes (Netzebene) und die externen und sozialen Kosten etwa der Luftverschmutzung, des Klimawandels, der Landnutzung, der Versorgungssicherheit usw. Das in der unten stehenden Grafik gezeigte System dient als Basis für die Kostenberechnungen, wurde von der NEA aber erweitert, um die Eigenarten der verschiedenen Stromerzeugungstechnologien und deren Einfluss auf die Gesamtkosten zu berücksichtigen. Die Stromsystem-Simulationen der Studie wurden daher mit POSY (Power system model for system costs evaluation) durchgeführt, dem Stromsystemmodell der NEA.

Die wichtigsten Kostenfaktoren in Elektrizitätssystemen



Quelle: OECD/NEA, 2022: Achieving Net Zero Carbon Emissions in Switzerland in 2050: Low Carbon Scenarios and their System Costs, S. 15

Die NEA hat zwei realisierbare und politisch relevante Szenarien vorgestellt, die es der Schweiz ermöglichen könnten, bis 2050 Netto-Null-Emissionen zu erreichen und gleichzeitig die Sicherheit der Stromversorgung zu gewährleisten. Drei weitere Szenarien wurden nur zu Vergleichszwecken hinzugefügt und sind in der länderspezifischen Strategie der Schweiz nicht vorgesehen. Jedes Szenario wird mit unterschiedlichen Niveaus der Verbundkapazität (Volumen des Stromhandels mit den Nachbarländern) analysiert, die ein entscheidender Faktor für die Gesamtsystemkosten des Schweizer Stromsektors bleibt.

1. Das «LTO-Szenario» geht davon aus, dass die Schweiz zusätzlich zur bestehenden Wasserkapazität über 2,2 GW Kernkraftkapazität aus dem Langzeitbetrieb (LTO) der beiden Kernreaktoren in Gösgen und Leibstadt verfügen wird. Ein LTO bis 2050 würde selbstverständlich von der Umsetzung der vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (Ensi) geforderten Sicherheitsnachrüstungen und der Rentabilität der Anlagen abhängen. Zusätzlich zu den 2,2 GW nuklearer Grundlastkapazität wurden in dem Szenario so viel Fotovoltaik- und Windkapazität wie erforderlich berücksichtigt, ergänzt durch die notwendigen Flexibilitätsressourcen.
2. Im Szenario «Nur VRE» sind in der Modellrechnung zusätzlich zu den bestehenden Wasserkraftwerken so viel Fotovoltaik- und Windkapazitäten sowie Flexibilitätsressourcen berücksichtigt, wie erforderlich sind, um den Strombedarf zu decken. In Anbetracht der politischen Debatte in der Schweiz wurde angenommen, dass die Fotovoltaik 90% und die Windenergie 10% der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ausmachen. Die gleiche Aufteilung wurde auch für den Beitrag der erneuerbaren Energien in anderen Szenarien verwendet.
3. Das Szenario «Neue Kernenergie 3,2 GW» geht davon aus, dass zwei neue Kernreaktoren der Generation III+ im Jahr 2050 3,2 GW an nuklearer Grundlast bereitstellen werden. Jedoch würde es in diesem Fall keinen LTO bis 2050 und darüber hinaus bei den Kernkraftwerken Gösgen und Leibstadt geben. Der Rest des benötigten kohlenstoffarmen Stroms würde wiederum durch Fotovoltaik und Windkraft bereitgestellt werden.
4. Das Szenario «Neue Kernenergie 1,6 GW» geht davon aus, dass ein neuer Kernreaktor der Generation III+ 1,6 GW nukleare Grundlast liefern wird. Der Rest

des benötigten kohlenstoffarmen Stroms würde wiederum durch Fotovoltaik und Windkraft bereitgestellt. Auch hier würde es keinen LTO von Gösgen und Leibstadt geben.

Da es in der Schweiz keine gesetzliche Grundlage für den Neubau von Kernkraftwerken gibt, können die Szenarien 3 und 4 nur als reine Gedankenspielerlei zu Vergleichszwecken betrachtet werden.

5. Das Szenario «Neues Erdgas» geht von dem Bau von 2 GW gasbefeuertem Kapazität und der Einführung eines Kohlenstoffpreises von USD 100 pro Tonne CO₂ aus. Der Rest des Strombedarfs wird wiederum durch erneuerbare Energien gedeckt. Das Szenario enthält keine Kernkraft. In Anbetracht der Opportunitätskosten des hohen Kohlenstoffpreises in diesem Szenario kann davon ausgegangen werden, dass die CO₂-Emissionen entweder verringert werden, z.B. durch CO₂-Abscheidung und -Speicherung, oder kompensiert werden, und dass somit die Netto-Null-Beschränkung weiterhin eingehalten wird. Neue Gaskapazitäten sind jedoch nicht Teil einer offiziellen Strategie, sondern werden in der Studie zu Vergleichszwecken dargestellt.

Die fünf genannten Szenarien des Schweizer Elektrizitätssektors im Jahr 2050 wurden in drei verschiedenen Handelskonstellationen modelliert:

1. Die Schweizer Verbundkapazität im Jahr 2050 beträgt 100% des Niveaus von 2022 und die Handelsbeziehungen mit den Nachbarländern im Strommarkt werden unverändert fortgesetzt.
2. Die Schweizer Verbundkapazität wird im Jahr 2050 auf 50% des Niveaus von 2022 verringert, wodurch der Stromhandel mit den europäischen Nachbarn eingeschränkt, aber nicht beendet wird.
3. Die Schweiz wird versuchen, Netto-Null-Emissionen in Autarkie zu erreichen, d.h. alle Verbundnetze mit den Nachbarländern werden geschlossen.

Kosteneffizienteste Option zum Erreichen der Klimaziele ist der Langzeitbetrieb von Gösgen und Leibstadt

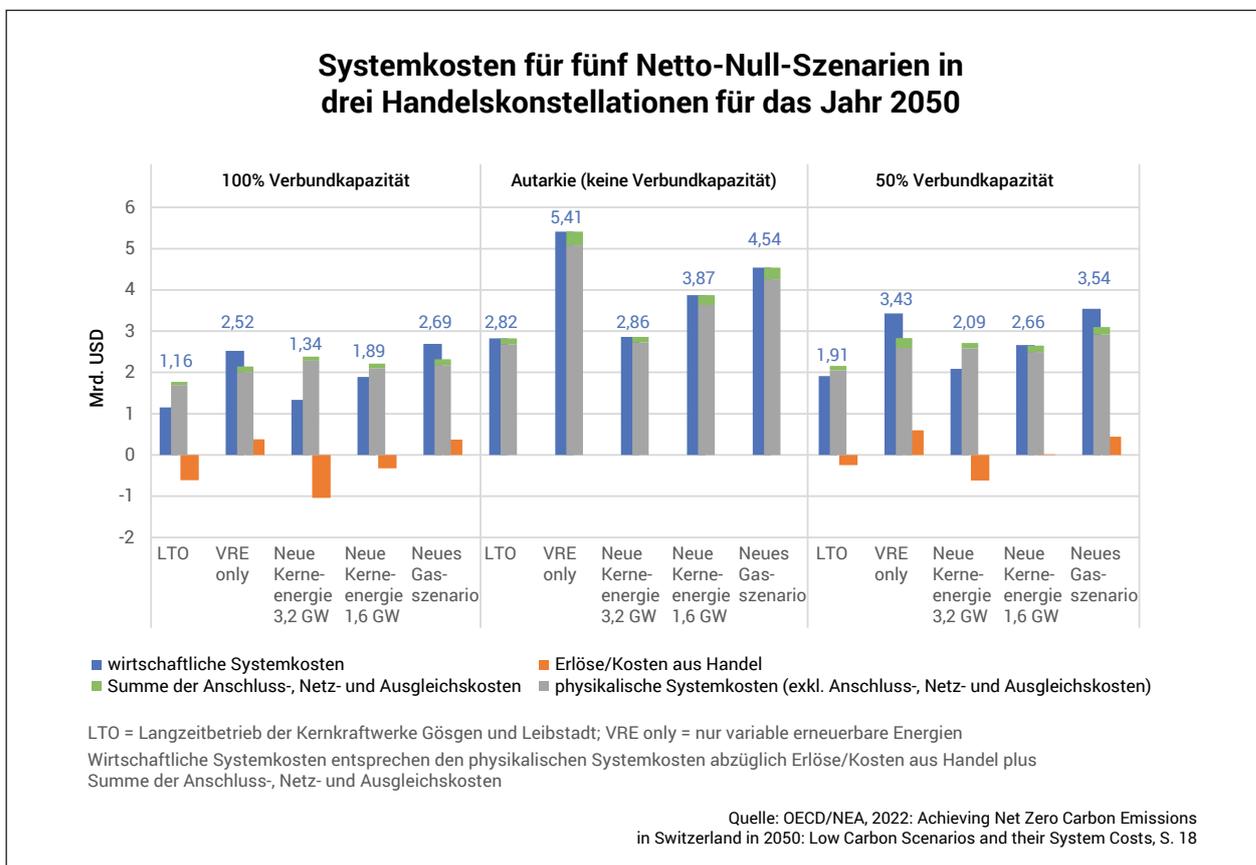
Die Kombination der fünf Szenarien mit drei Stufen der Verbundkapazität ergibt 15 Fälle, welche die NEA analy-

sierte. Die unten stehende Grafik gibt einen Überblick über die gesamten Systemkosten und ihre verschiedenen Komponenten. Die wirtschaftlichen Systemkosten entsprechen den inländischen Erzeugungskosten (physikalische Systemkosten) abzüglich der Netto-Handel-einnahmen. Positive Nettohandelserlöse sind in Orange als negative Kosten dargestellt. In den seltenen Fällen, in denen die Schweiz ein Nettohandelsdefizit im Stromhandel hat, würde dies als positive Kosten erscheinen. Die physikalischen Systemkosten beinhalten ebenfalls in Grün die Summe der Anschluss-, Netz- und Ausgleichskosten. Der auf jedem Balken der Grafik in Blau angegebene Zahlenwert bezieht sich auf die wirtschaftlichen Systemkosten für ein Jahr, nämlich das Jahr 2050.

Die Ergebnisse zeigen, dass die kosteneffizienteste Option zum Erreichen des Netto-Null-Ziels der Schweiz im

Jahr 2050 darin besteht, die beiden jüngsten Kernkraftwerke, Gösgen und Leibstadt, weiter zu betreiben (LTO-Szenario) und die Verbundkapazitäten für den Stromhandel mit den Nachbarländern auf dem derzeitigen Niveau zu halten. Der langfristige Betrieb von 2,2 GW Kernkraftwerkskapazität wäre auch die kosteneffizienteste Option unter Autarkie oder bei reduzierter Verbundkapazität. Das LTO-Szenario hat insbesondere niedrigere wirtschaftliche Kosten als das Szenario «nur VRE», nämlich weniger als die Hälfte, wenn die Verbundkapazitäten auf dem derzeitigen Niveau gehalten werden.

Die Ergebnisse zeigen weiter, dass es unabhängig davon, für welchen Stromerzeugungsmix sich die Schweiz entscheidet, immer wirtschaftlich effizienter ist, die Verbundkapazitäten auf dem derzeitigen Niveau zu halten,



als sie zu reduzieren. Autarkie ist immer mit einigem Abstand die am wenigsten günstige Option.

Die dritte Beobachtung ist, dass – neben dem Weiterbetrieb der beiden jüngsten Kernkraftwerke der Schweiz – neue Kernkraftwerke das Alternativszenario mit den geringsten wirtschaftlichen Kosten zum Erreichen von Netto-Null sind. In allen drei Handelskonstellationen sind zwei neue Kernkraftwerke mit 3,2 GW kosteneffizienter als ein einziges neues Kraftwerk mit 1,6 GW.

Es zeigt sich zudem, dass hohe Anteile von Fotovoltaik und Windkraft im Erzeugungsmix die Gesamtkapazität erhöhen, was auf ihre vergleichsweise niedrigen Lastfaktoren zurückzuführen ist. Darüber hinaus erfordert das Fehlen von Verbindungskapazitäten als Flexibilitätsressource in der Autarkie-Konstellation die Einführung neuer flexibler Kapazitäten, z.B. Batteriespeicher. Ihre zusätzlichen Kosten geben einen ersten Hinweis auf die Belastung, der das Schweizer Stromsystem bei Autarkie ausgesetzt wäre.

Was die Erzeugung betrifft, so ist die wichtigste Beobachtung, dass Stromimporte eine wichtige Rolle spielen. In allen fünf Netto-Null-Szenarien mit offenen Verbundnetzen importiert die Schweiz mehr physische elektrische Energie als sie exportiert. Dennoch weist sie in den meisten Szenarien eine positive Handelsbilanz auf, da sie in der Lage ist, Strom zu kaufen, wenn die Preise niedrig sind, und ihn zu verkaufen, wenn sie hoch sind. Die physischen Nettoimporte sind im Szenario «Nur VRE» am höchsten, da in diesem Fall der Flexibilitätsbe-

darf am grössten ist. Die Nettoimporte sind in den Szenarien «LTO» und «Neue Kernenergie» mit ihrer konstanten Erzeugung von Grundlaststrom rund um die Uhr am niedrigsten.

Schlussfolgerungen

Szenarien, die auf einem Erzeugungsmix aus erneuerbaren Energien und nuklearer Grundlast basieren, haben durchweg niedrigere Systemkosten als Szenarien, die ausschliesslich auf variablen erneuerbaren Energien wie Fotovoltaik und Wind basieren. Die Analyse zeigt, dass das kosteneffizienteste Szenario zum Erreichen von Netto-Null-Emissionen im Jahr 2050 darin besteht, die beiden jüngsten Schweizer Kernkraftwerke weiter zu betreiben und gleichzeitig die Verbundkapazitäten für den Stromhandel mit den Nachbarländern auf dem Stand von 2022 zu halten.

Eine reine VRE-Strategie, d.h. Stromproduktion mit erneuerbaren Energien, ist teurer, aber technisch machbar, solange die Verbindungskapazitäten, die den Stromhandel mit den Nachbarländern ermöglichen, auf dem heutigen Niveau bleiben. Wie heute wird die Schweiz in allen Szenarien, die den Stromhandel zulassen, physisch gesehen ein Nettoimporteure von Strom bleiben. Dies setzt voraus, dass die Elektrizitätssysteme in den Nachbarländern ausreichende Kapazitäten und Flexibilitätsressourcen entwickeln, um den benötigten Strom zu liefern. Wie die Szenarien bei Autarkie zeigen, ist der Aufbau solcher Kapazitäten und Flexibilitäten im Inland jedoch immer deutlich teurer. (S.D. nach OECD/NEA, *Achieving Net Zero Carbon Emissions in Switzerland in 2050, 2022*)

Französischer Nuklearstrom ist sehr klimafreundlich

Frankreich setzt auf Kernenergie und diese wird laut einer Umfrage immer beliebter. Die bestehenden Werke liefern zuverlässig seit Jahren bezahlbaren Strom. Dieser ist erst noch sehr klimafreundlich wie eine Lebenszyklusanalyse der Energieversorgerin Electricité de France (EDF) im Sommer 2022 aufzeigt. Dies lässt sich nicht wegdiskutieren, auch wenn die Kernreaktoren 2022, infolge regulärer Wartungsarbeiten und zur Behebung von Korrosionsschäden, markant weniger Strom produzieren konnten.

Die französische Regierung sieht den Ausbau der Kernenergie – zusammen mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien und Massnahmen im Bereich Energieeinsparung und -effizienz – als einer der drei Schwerpunkte zur Dekarbonisierung mit dem Ausstieg aus fossilen Energieträgern. Gemäss der deutschen Online-Plattform Statista haben die französischen Kernkraftwerke in den Jahren 2020 und 2021 rund 70% zur Stromproduktion des Landes beigetragen.

Es existieren bereits einige Lebenszyklusanalysen von renommierten Einrichtungen, die der Kernkraft im Allgemeinen Klimafreundlichkeit bescheinigen. Beim Indikator für die Treibhausgas-Emissionen werden dort Werte von 10 Gramm CO₂-Äquivalenten und weniger je produzierter Kilowattstunde Strom angegeben. Auch ein Blick auf «What are the safest and cleanest sources of energy?» bei Ourworldindata.org zeigt, dass die Kernkraft bezüglich Sicherheit und Klimafreundlichkeit mit der Fotovoltaik und der Windenergie vergleichbar ist und sehr gut dasteht. Gemäss der Europäischen Umweltagentur entstanden 2021 in Frankreich durch die Stromproduktion lediglich 67 g CO₂-eq/kWh. Im Vergleich dazu betrug dieser Wert in Deutschland 402 g CO₂-eq/kWh.

EDF wollte mehr zur Auswirkung der Stromproduktion ihrer Kernkraftwerke auf das Klima erfahren

EDF bekennt sich in ihrer Satzung zum «Aufbau einer CO₂-neutralen Energiezukunft mithilfe von Elektrizität und innovativen Lösungen und Dienstleistungen, um zur Erhaltung unseres Planeten beizutragen sowie Wohlbefinden und wirtschaftliche Entwicklung voranzutreiben». Daher habe sich das Unternehmen dazu entschieden, die Wertschöpfungskette ihrer wichtigsten Stromerzeugungsart in Frankreich, der Kernenergie, zu

analysieren und ihr Wissen über die Umweltauswirkungen ihrer Aktivitäten zu vertiefen. «Die Studie dient dem Zweck des Umweltmanagements. Sie zielt auf ein besseres Verständnis der Beiträge der einzelnen Schritte und Prozesse ab. Sie soll es ermöglichen, die besten Massnahmen zur Verbesserung der Umwelt zu identifizieren, die in der Wertschöpfungskette eingeleitet und durchgeführt werden können», so EDF.

Um Werte für verschiedene klima- und umweltrelevante Indikatoren zur Stromproduktion mit den französischen Kernkraftwerken zu erhalten, führte EDF eine Lebenszyklusanalyse durch. Die Ergebnisse wurden am 16. Juni 2022 einem Fachpublikum vorgestellt. Solche Umwelt- oder Ökobilanzen bewerten die potenziellen Auswirkungen eines Systems (Produkt, Dienstleistung, Prozess, Kette) auf die Umwelt. Die EDF-Studie umfasst alle Phasen, die mit der Nuklearstromproduktion verknüpft sind, also den Brennstoffkreislauf «von der Wiege bis zur Bahre»:

- Uranerzabbau und Erzaufarbeitung
- Konversion, Anreicherung und Brennelementherstellung
- (Strom-)Produktion mit Bau, Betrieb und Rückbau von Kernkraftwerken
- Wiederaufarbeitung des ausgedienten Brennstoffs und Lagerung der radioaktiven Abfälle

Zehn Indikatoren mit Schwerpunkt Klimawandel

Die Studie untersucht die zehn wichtigsten sogenannten ILCD-Indikatoren (International Life Cycle Data), die gemäss EDF «vom Joint Research Center, einem internen wissenschaftlichen Dienst der Europäischen Union, ausgewählt und als die ausgereiftesten betrachtet werden». Der Studienschwerpunkt liege auf dem Indikator Klimawandel. EDF betont aber, dass die Studie auch «Analysen zu den Themen Ozonabbau, Partikelemissionen, ionisierende Strahlung, fotochemische Ozonbildung, Versauer-

rung, Eutrophierung (Land, Süsswasser und Meer) und Ressourcenerschöpfung» enthalte. Zudem seien für die Themen Wasser und Abfall spezifische Ansätze gewählt worden, die in der Studie erläutert würden.

Laut EDF hat die Analyse für den Indikator Klimawandel ergeben, dass in französischen Kernkraftwerken nur 3,7 g CO₂-Äquivalente je produzierter kWh Nuklearstrom verursacht werden. Diese Zahl repräsentiert alle Treibhausgasemissionen im Zyklus, inklusive CO₂, für eine konservativ angenommene Betriebsdauer von 40 Jahren. «Eine Zahl, die den sehr kohlenstoffarmen Charakter dieser Energie bestätigt», betonte EDF. Die Lebenszyklusanalyse der EDF sei «streng nach den ISO-Normen 14040 und 14044 durchgeführt» und «von einem Gremium unabhängiger Experten kritisch überprüft» worden, welche die Ergebnisse als glaubwürdig eingestuft hätten, so EDF. Als Berechnungsgrundlage diente das Jahr 2019, wodurch die Ergebnisse nicht durch Einflüsse der Covid-Pandemie verfälscht wurden.

Vergleichbare Werte haben Studien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) und der Agence de la transition écologique (Ademe) mit 6 bzw. 12 g CO₂-eq/kWh Nuklearstrom ergeben. Eine Studie des

Paul Scherrer Instituts (PSI) kommt für die Schweiz auf Werte von 6 g (Druckwasserreaktor) beziehungsweise 10 g (Siedewasserreaktor). Im Vergleich dazu gibt Ademe für die Fotovoltaik 32,3 g (europäischer Strommix für Panelherstellung), für Onshore-Windenergie 14,1 g, für Offshore-Windenergie 15,6 g, für Gaskraftwerke 418 g und für Kohlekraftwerke 1058 g CO₂-eq/kWh produzierten Stroms an.

Die Studienergebnisse zeigen, dass die der Produktion vorgelagerten Phasen (Front-End) vom Uranabbau bis zur Brennstoffherstellung mit 57% den grössten Anteil an den Treibhausgasemissionen haben. Die nachgelagerten Phasen (Back-End) mit Wiederaufarbeitung und der Abfalllagerung kommen auf einen Anteil von 15%. Die Produktion selbst trägt 28% zu den Treibhausgasemissionen bei. EDF hat auch untersucht, wie sich die Verlängerung der Betriebsdauer von 40 auf 60 Jahren auswirkt: Die Emissionen sinken dabei von 3,7 g auf 3,4 g CO₂-eq/kWh Nuklearstrom.

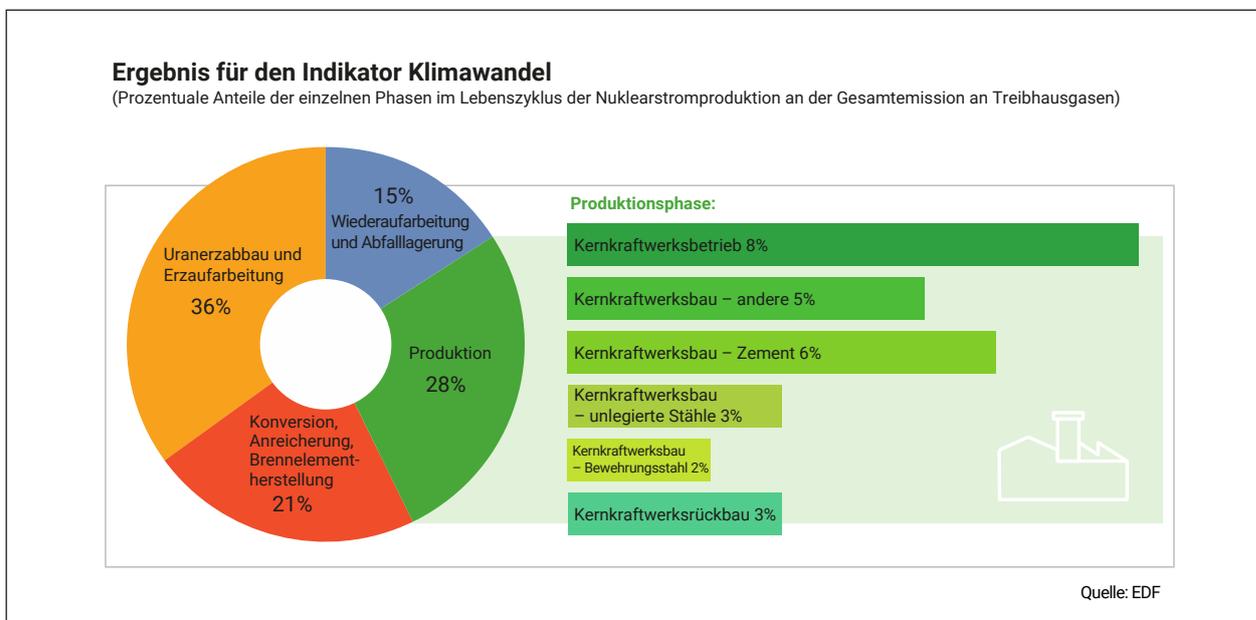
Als weitere Studienergebnisse erwähnt EDF, dass bei den meisten Indikatoren der «Energieverbrauch (Diesel und Strom)» in der Bergbauphase relativ gesehen der einflussreichste Faktor sei, zuzüglich des Verbrauchs

Ergebnis für den Indikator Klimawandel

(Emission an Treibhausgasen in den einzelnen Phasen des Lebenszyklus der Nuklearstromproduktion)

| Phase | g CO ₂ -eq/kWh |
|---|---------------------------|
| Uranerzabbau und Erzaufarbeitung | 1,3 |
| Konversion | 0,3 |
| Anreicherung | 0,4 |
| Brennelementherstellung | 0,1 |
| Produktion – Bau Kernkraftwerk | 0,6 |
| Produktion – Betrieb Kernkraftwerk | 0,3 |
| Produktion – Rückbau Kernkraftwerk | 0,1 |
| Wiederaufarbeitung des ausgedienten Brennstoffs | 0,5 |
| Lagerung der radioaktiven Abfälle | 0,1 |
| Total | 3,7 |

Quelle: EDF



von Schwefelsäure bei der Erzaufbereitung. Beim Indikator «Ressourcenerschöpfung» gehe es vor allem um Uran, das verbraucht werde. Beim Indikator «Ionisierende Strahlung» spiele der Kohlenstoff-14 eine wichtige Rolle, der bei der Verarbeitung ausgedienter Brennelemente und der Stromerzeugung in die Luft abgegeben werde.

Einzelheiten zum Kernkraftwerkspark der EDF

Im Studienjahr 2019 umfasste der Kernkraftwerkspark von EDF 58 Kernkraftwerkseinheiten (einschliesslich der beiden am 22. Februar und 29. Juni 2020 stillgelegten 880-MW-Druckwasserreaktoren in Fessenheim). Sie verteilen sich auf 19 Standorte, wobei ein Standort aus 2 bis 6 Blöcken besteht. Im Detail verfügt EDF über:

- 34 Einheiten der 900-MW-Baureihe. 22 davon verwenden sowohl Uranoxid-Brennelemente (UOX) als auch Mischoxid-Brennelemente (MOX), die neben abgereichertem Urandioxid (UO₂) auch noch Plutoniumdioxid (PuO₂) als Brennstoff enthalten;
- 20 Einheiten der 1300-MW-Baureihe, die nur UOX-Brennelemente verwenden;
- 4 Einheiten der 1450-MW-Baureihe, die ebenfalls nur UOX-Brennelemente verwenden.

Ende 2021 stellte EDF im Rahmen der alle zehn Jahre durchzuführenden Sicherheitsüberprüfungen beim

Druckwasserreaktor Civaux-1 aus der 1450-MW-Baureihe Korrosionsschäden fest. In der Folge wurden weitere Einheiten überprüft und einige von ihnen zum Abklären möglicher Schäden und für Reparaturen vom Netz genommen. Untersuchungen der EDF ergaben, dass bei einigen Kernreaktoren die Schweissnähte bei den Rohrleitungen des Sicherheits-Einspeisesystems und des Nachkühlsystems anfällig auf Spannungsrisskorrosion sind. Weitere Blöcke wurden zudem 2022 wegen der alle zehn Jahre stattfindenden Sicherheitsüberprüfungen respektive wegen routinemässiger Wartungsarbeiten abgeschaltet.

Myrto Tripathi, die Präsidentin und Gründerin des französischen Vereins «Voix du nucléaire», erklärte im September 2022 gegenüber dem Nuklearforum Schweiz, dass im Sommer 2022 von den 56 kommerziellen Kernkraftwerkseinheiten 31 abgeschaltet gewesen seien. «Bei 29 Reaktoren erfolgte die Abschaltung für Nachladung und Wartung. Davon wurden zwölf für Diagnosen oder Reparaturen von Spannungsrisskorrosionsproblemen heruntergefahren. Zwei weitere Blöcke wurden im Hinblick auf den Wintereinbruch zur Brennstoffeinsparung abgeschaltet», so Tripathi. Bis Dezember 2022 würden die beiden Blöcke, die wegen der Einsparung von Brennstoff abgeschaltet worden seien, wieder in Betrieb genommen.

Auch ein Grossteil der Einheiten, die für die laufende Wartung abgeschaltet worden seien (was häufig im Sommer der Fall ist, um dann mit möglichst wenigen Abschaltungen durch den Winter zu kommen), sollten bis Dezember wieder in Betrieb genommen werden.

Gemäss Aussagen der französischen Regierung von Ende August 2022 hat sich EDF dazu verpflichtet, den gesamten Kernkraftwerkspark mit seinen 56 Einheiten bis Mitte Februar 2023 wieder ans Netz zu bringen. Ende September befanden sich laut EDF 15 Einheiten im Zusammenhang mit Abklärungen zu möglichen Korrosionsschäden im Stillstand. Am 3. November 2022 informierte EDF in einer Mitteilung, dass die Arbeiten im Zusammenhang mit der Spannungsrisskorrosion bereits bei sechs Kernreaktoren abgeschlossen werden konnten, die Arbeiten bei vier Reaktoren aber noch andauern würden. Bei weiteren drei Kernkraftwerken hätten Untersuchungen gezeigt, dass Rohrleitungen ausgetauscht werden müssten. Bei zwei Werken laufe die Bewertung noch, so EDF.

Pläne zum Neubau von Kernkraftwerken

Eine aktuelle Umfrage (siehe Kasten) ist zum Schluss gekommen, dass die Kernenergie in Frankreich bei der Bevölkerung nach wie vor beliebt ist. Und auch die Regierung will weitere Kernkraftwerken bauen. Im Februar 2022 kündigte der französische Präsident Emmanuel Macron an, das kommerzielle Nuklearprogramm des Landes wiederzubeleben. Er will mindestens sechs neue und als Option acht weitere Einheiten bauen. Die Laufzeiten der bestehenden Anlagen möchte er ebenfalls verlängern. Bei den neuen Kernreaktoren soll es sich laut Macron um eine modernere Version der Druckwasserreaktoren des Typs EPR handeln, um den EPR2. Der erste davon werde bis 2035 in Betrieb gehen. Gegenwärtig befindet sich in Frankreich ein EPR (Flamanville-3) in Bau. Für den neuen EPR2 hat die EDF als Standorte Penly und Gravelines sowie Bugey oder Tricastin vorgeschlagen.

Die von Macron angekündigte neue französische Energiestrategie setzt aber nicht nur auf Kernenergie, sondern auch auf einen Ausbau der erneuerbaren Energien, damit das Land bis 2050 die Klimaneutralität erreichen kann. Dass sich diese zwei Arten der Energieerzeugung gegen-

seitig ergänzen können und voneinander profitieren, zeigt die Studie «Nuclear Power and Secure Energy Transitions: From today's challenges to tomorrow's clean energy systems» der Internationalen Energieagentur (IEA) vom Juni 2022 auf. Sie kommt zum Schluss: «In Ländern, welche die Kernenergie weiterhin nutzen oder sie sogar ausbauen, kann sie die Abhängigkeit von importierten fossilen Brennstoffen verringern, die CO₂-Emissionen senken und die Stromnetze in die Lage versetzen, einen höheren Anteil an Sonnen- und Windenergie zu integrieren. Der Aufbau nachhaltiger und sauberer Energiesysteme wird ohne die Kernenergie schwieriger, riskanter und teurer sein.» Zu ähnlichen Schlüssen kommt eine Studie der Nuclear Energy Agency (NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) für die Schweiz, die wir auf der Seite 11 vorstellen. (B.G. nach EDF-Studie «Analyse du Cycle de Vie – Produire un kWh à partir du parc nucléaire français EDF», 5. Mai 2022 sowie weiteren Quellen)

Umfrage zeigt: Kernenergie ist in Frankreich beliebt

Gemäss einer am 4. November 2022 veröffentlichten Umfrage der Finanzzeitung «Les Échos» befürworten 70% der Französischen und Franzosen den Bau neuer Kernkraftwerke. Im Detail sind 60% für den Bau neuer Kernkraftwerke in Verbindung mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien. 27% möchten ausschliesslich auf erneuerbare Energien setzen und schrittweise aus der Kernenergie aussteigen. 10% möchten nur neue Kernkraftwerke haben, ohne die neuen Erneuerbaren weiter auszubauen und 3% haben keine Angaben gemacht. Les Échos nennt als wichtigste Erkenntnis der Umfrage: «Die Atomkraft ist in Frankreich beliebt und wird sogar immer beliebter, auch bei den Anhängern der Grünen, ohne dass dies mit einer Ablehnung der erneuerbaren Energien einhergeht.»

Polens Kernkraftwerkspläne

Polen plant, ab 2033 die Kernenergie als Teil seines diversifizierten Energieportfolios einzusetzen. Ziel ist eine installierte Leistung von 6000 bis 9000 MW auf der Grundlage bewährter, grosser Druckwasserreaktorblöcke der Generation III und III+. Derzeit ist Polen stark von der Kohle abhängig, die rund 71% der zur Stromerzeugung benötigten Energie liefert. Wie Polen schon bald zu seinen ersten Kernkraftwerken kommen könnte, zeigt dieser Artikel mit einer Zusammenfassung der Ereignisse auf.

Das polnische Kabinett hatte bereits Anfang 2005 beschlossen, dass das Land zur Diversifizierung der Energieversorgung und zur Verringerung der Kohlendioxid- und Schwefelemissionen «unverzüglich» in die Kernenergie einsteigen solle. In einem Bericht an das Wirtschaftsministerium aus dem Jahr 2009 wurde die Kernenergie als die kosteneffizienteste Methode zur Verringerung der Kohlendioxidemissionen unter den wichtigsten Energieerzeugungsoptionen bezeichnet. Ein Beschluss des Ministerrats forderte daraufhin den Bau von mindestens zwei Kernkraftwerken in Polen, die 15% zur Stromproduktion des Landes beitragen sollten.

Der damalige Zeitplan der Regierung sah vier Phasen vor. In einer ersten Phase sollten bis Ende 2010 die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Nutzung der Kernenergie in Polen geschaffen werden, einschliesslich Abklärungen für potenzielle Standorte zur Lagerung radioaktiver Abfälle. Die zweite Phase (2011–2013) umfasste die Suche nach Investoren und die Auswahl des Standorts und der Reaktortechnologie sowie die Bauausschreibung. Geplant war zudem die Suche nach Uranvorkommen. Die dritte Phase (2014–2015) beinhaltete die technischen Planungsarbeiten und das Einholen der Bewilligungen. Der eigentliche Bau des ersten Kernkraftwerks des Landes hätte laut Plan in der vierten Phase zwischen 2016 und 2020 realisiert werden sollen.

Um die Ziele der Regierung zu erreichen, kündigte die Polska Grupa Energetyczna (PGE) – die grösste polnische Energieversorgerin (gemessen an der Stromerzeugungskapazität) – im Januar 2009 Pläne zum Bau von zwei Kernkraftwerken mit einer Kapazität von je 3000 MW an.

Im November 2010 legte das Wirtschaftsministerium ein neues Kernkraftprogramm vor, das im Januar 2011 von

der Regierung genehmigt und im Februar 2012 vom PGE-Vorstand bestätigt wurde. PGE schätzte damals die Kosten für eine moderne Anlage auf EUR 2500 bis 3000 je kW. Die Kosten für die Stromerzeugung aus Kernkraftwerken wurden auf 6,5 bis 6,8 Cent pro kWh geschätzt, was «den Bau von Anlagen in den meisten Szenarien rechtfertigt».

Im Mai 2011 verabschiedete das Parlament mit 407 zu 2 Stimmen ein Gesetz zur Änderung des Kernenergiegesetzes des Landes, das die Schaffung eines transparenten und stabilen Regulierungsrahmens für den gesamten



In Polen, dem am stärksten von Kohle abhängigen Land der EU, sank der Anteil der aus Kohle erzeugten Elektrizität von 86,6% im Jahr 2010 auf 70,8% im Jahr 2021. Dies geht aus neuen Daten zum polnischen Energiemix hervor, die von der staatlichen Energy Market Agency (ARE) veröffentlicht wurden. Bild: Das Kohlekraftwerk Belchatow, welches 2021 die höchsten Treibhausgasemissionen aller europäischen Kraftwerke verursachte. (Foto: Piotr Krzeslak / Shutterstock)

Investitionsprozess durch die Nationale Nuklearaufsichtsbehörde (Panstwowa Agencja Atomistyki, PAA) vorsah, die den Bau der Anlagen überwachen würde. Der Regulierungsrahmen umfasste den Betrieb der Anlagen sowie die Entsorgung von radioaktiven Abfällen und gebrauchten Brennstoffen. Weitere Gesetze wurden Ende Juni verabschiedet.

Polen verabschiedete 2014 schlussendlich ein überarbeitetes nationales Kernenergieprogramm, das den Bau von bis zu 6000 MW nuklearer Kapazität bis 2035 vorsah. 2015 verschob jedoch die Regierung den endgültigen Entscheid wegen Finanzierungsunsicherheiten.

Im November 2018 veröffentlichte das Energieministerium dann seinen Entwurf für die Energiepolitik Polens bis 2040 (EPP2040) zur öffentlichen Konsultation. In dem Dokument wurden die Pläne zur Entwicklung von 6000 bis 9000 MW an Kernenergie bekräftigt. Dies wurde in einer überarbeiteten Fassung vom Mai 2019 bestätigt, in der die Fertigstellung des ersten von sechs Blöcken mit einer Leistung von 1000 bis 1500 MW im Jahr 2033 prognostiziert wurde, wobei jeder weitere Block alle zwei Jahre folgen und die Kohleverstromung ersetzen sollte. Im Oktober 2020 kündigte das polnische Ministerium für Klima und Umwelt eine Beschleunigung der Pläne an und forderte eine Technologieauswahl im Jahr 2021 und die Unterzeichnung des endgültigen Vertrags für das erste Kraftwerk im Jahr 2022. Das polnische Kabinett verabschiedete die Energiepolitik im Februar 2021.

Angebote aus Frankreich, Südkorea und den USA

Im Juni 2019 unterzeichnete Polen zwar ein bilaterales Abkommen über die zivile nukleare Zusammenarbeit mit den USA. Das Land betonte aber, dass es weiterhin Angebote potenzieller Reaktorlieferanten prüfen werde. Es habe sich noch nicht auf eine Reaktortechnologie festgelegt.

Im März 2021 ratifizierte die Regierung das zwischenstaatliche Abkommen, das den USA 18 Monate Zeit gibt, ein Technologie- und Finanzierungsangebot für Kernkraftwerke auszuarbeiten. Im Juni 2021 gewährte die US Trade & Development Agency dem polnischen Unterneh-

men Polskie Elektrownie Jadrowe (PEJ), das für Polens Neubaupläne im Nuklearbereich zuständig ist, einen Zuschuss zur Unterstützung von Front-End-Engineering- und Auslegungsstudien von Westinghouse und Bechtel im Hinblick auf den Bau eines amerikanischen AP1000-Reaktors in Polen.

Im Oktober 2021 bot Electricité de France (EDF) an, bis zu sechs EPR-Blöcke mit einer Leistung von je 1600 MW zu bauen und damit 40% des Stroms des Landes zu dekarbonisieren. Im April 2022 unterbreitete Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) ein gleichwertiges Angebot für den Bau von sechs seiner APR-1400-Blöcke und erklärte, dass der erste Reaktor bis 2033 in Betrieb genommen werden könnte. KHNP erklärte sich zudem bereit, 20 bis 30% des Projekts zu finanzieren. Im September 2022 legten Westinghouse und Bechtel ein Angebot für den Bau von sechs leistungsstarken AP1000-Reaktoren vor.

Und die Gewinner sind: die USA und ...

Ende Oktober 2022 gab Premierminister Mateusz Morawiecki bekannt, dass Westinghouse den Zuschlag für den Bau des ersten Kernkraftwerks des Landes am Standort Lubiatowo-Kopalino in der Provinz Pommern erhalten hat, wobei der genaue Standort in der Nähe der Ostsee noch bestätigt werden muss. Der Bau der ersten Einheit soll bereits 2026 beginnen. Die Inbetriebnahme ist für 2033 vorgesehen.

Bei der Auswahl habe die Regierung die «sicherste und bewährte Reaktortechnologie, die Stabilität des Stromsystems und die Notwendigkeit, die Dekarbonisierung der polnischen Wirtschaft zu beschleunigen» berücksichtigt, erklärte das Ministerium für Klima und Umwelt und bezog sich auf den amerikanischen Konzept- und Ausführungsbericht. Dieser wurde von amerikanischen Regierungsvertretern zusammen mit der Offerte von Westinghouse am 12. September 2022 an Polen überreicht – «im Einklang mit dem polnisch-amerikanischen Regierungsabkommen über die Entwicklung des polnischen Kernenergieprogramms vom Oktober 2020», betonte das Ministerium. Die im Bericht enthaltene detaillierte Studie bestätige die technologische Machbarkeit eines Kernkraftwerks in Lubiatowo-Kopalino auf der Grundlage der AP1000-Reaktortechnologie von Westinghouse. →

Der vom Ministerrat verabschiedete Beschluss bilde «die Grundlage für die weitere Umsetzung der gegenseitigen Verpflichtungen im Rahmen des Abkommens, einschliesslich der Unterstützung der beteiligten Unternehmen sowie der Aktivitäten auf Regierungsebene – von der Regulierungsarbeit, der Forschung, der Personalschulung über die Entwicklung von Lieferketten und Kampagnen zur Sensibilisierung der Öffentlichkeit bis hin zur Zusammenarbeit bei Kernkraftprojekten in Europa».

«Noch nie war Polen dem Bau eines Kernkraftwerks so nahe wie heute», verkündete Anna Moskwa, polnische Ministerin für Klima und Umwelt: «Die Auswahl der Technologie für das erste Kernkraftwerk in Polen bringt uns der Verwirklichung dieses strategischen Projekts tatsächlich näher, und eine angemessene Finanzierung für den Bau grosser Kernkraftwerke in Polen wird es ermöglichen, die Strompreise zu senken und gleichzeitig die Interessen der Endverbraucher zu berücksichtigen.»

«Wir gehen von Gesamtkosten in Höhe von etwa 20 Mrd. US-Dollar aus», erklärte Ministerpräsident Morawiecki gemäss Medienberichten gegenüber Journalisten und fügte hinzu: «Die Anfangsinvestitionen sind hoch, aber

sobald ein Kernkraftwerk in Betrieb ist, sind die Kosten für die Stromerzeugung relativ niedrig.» Details zur Finanzierung gab der Ministerpräsident nicht preis, sondern liess lediglich verlauten: «Wir haben die Finanzierung für die gegenwärtigen frühen Projektphasen gesichert. Der Grossteil des Geldes wird später benötigt, und es gibt mehrere Möglichkeiten, es zu sichern.»

Hinweise auf eine mögliche Finanzierung enthält der amerikanische Konzept- und Ausführungsbericht: «In dem Bericht wurden auch potenzielle Finanzierungsquellen für das Projekt genannt, einschliesslich der Beteiligung von Institutionen der amerikanischen Regierung, d.h. der Export-Import Bank of the United States und der U.S. International Development Finance Corporation», gab das Ministerium für Klima und Umwelt bekannt.

Westinghouse zeigte sich erfreut: «Dies ist ein historischer Tag für Polen und für Westinghouse. Wir fühlen uns geehrt, mit der polnischen Regierung zusammenzuarbeiten, um eine neue Ära der Energieversorgungssicherheit einzuleiten, die den Menschen in Polen zuverlässige, erschwingliche und kohlenstoffarme Elektrizität und wirtschaftliche Vorteile bringen wird», sagte Patrick Fragman, Präsident und CEO von Westinghouse. «Dieses Projekt wird Tausende von Arbeitsplätzen während des Baus und für viele Jahrzehnte während des Betriebs der Anlagen schaffen.»

Derzeit sind vier AP1000-Einheiten von Westinghouse in China in Betrieb, zwei Blöcke stehen in den USA am Standort Vogtle kurz vor der Inbetriebnahme und vier Blöcke befinden sich in China in Bau. Zudem habe China sich bei zwei weiteren Blöcken für die AP1000-Technologie entschieden und diese sei auch für neun Blöcke von der Ukraine ausgewählt worden, sagte Westinghouse. Auch weitere Länder zeigten Interesse am AP1000, welcher der einzige in Betrieb befindliche Reaktor der Generation III+ mit vollständig passiven Sicherheitssystemen, modularer Auslegung und der kleinsten Stellfläche pro MW auf dem Markt sei, so Westinghouse.

... und Südkorea

Am 31. Oktober 2022 gab der stellvertretende polnische Ministerpräsident Jacek Sasin gegenüber dem polnischen Sender Polsat bekannt, dass Polen bis 2033 nicht nur eines sondern zwei Kernkraftwerke in Betrieb haben



Der polnische Ministerpräsident Mateusz Morawiecki während der Pressekonferenz zum geplanten Bau des ersten polnischen Kernkraftwerks am Standort Lubiatowo-Kopalino mit Westinghouse Electric Company als Reaktorlieferantin. (Foto: Screenshot aus YouTube-Video des Büros des polnischen Ministerpräsidenten)



Der südkoreanische Minister für Handel, Industrie und Energie Lee Chang-yang und der stellvertretende polnische Premierminister Jacek Sasin unterzeichnen eine Vereinbarung, mit der sie ihre Unterstützung für das Neubauprojekt am Standort Patnow in Zentralpolen bestätigen.
(Foto: Polnisches Ministerium für Staatsvermögen)

werde. Er bezog sich dabei auf die Unterzeichnung einer Absichtserklärung über einen Entwicklungsplan für ein Kernkraftwerk am Standort Patnow in Zentralpolen. Die Erklärung wurde gleichentags zwischen dem polnischen Ministerium für Staatsvermögen, dem koreanischen Ministerium für Handel, Industrie und Energie, den polnischen Energieunternehmen ZE PAK und Polska Grupa Energetyczna SA (PGE) sowie der südkoreanischen Reaktorlieferantin KHNP geschlossen. Gemäss Sasin wird das Patnow-Kernkraftwerksprojekt privatwirtschaftlich finanziert, aber zugleich auch «von der polnischen Regierung unterstützt».

Gemäss der internationalen Kernenergie-Nachrichtenagentur NucNet hat Jacek Sasin gegenüber dem polnischen Radio 1 erklärt, dass sich beide Investitionen – die von Westinghouse für den Standort Lubiatowo-Kopalino im Rahmen des staatlichen Nuklearprogramms

und die von KHNP für das privatwirtschaftlich finanzierte Patnow-Projekt – gegenseitig ergänzen werden. «Wir werden dieses grosse polnisch-amerikanische Projekt zur gleichen Zeit durchführen», sagte Sasin und fügte hinzu: «Ich betone das, damit nicht die Illusion entsteht, die Südkoreaner würden die Amerikaner ersetzen – nein. Es handelt sich um zwei sich ergänzende Projekte.» Die Beteiligung von KHNP am Patnow-Projekt werde nicht nur die Reaktortechnologie, sondern auch südkoreanisches Kapital einbringen. Laut Regierungserklärung müssen die beteiligten Unternehmen ZE PAK, PGE und KHNP allerdings noch die Einzelheiten der Investitionen aushandeln.

In der polnischen Regierungserklärung zum Patnow-Projekt lässt Sasin verlauten: «Wir brauchen billige und stabile Energiequellen in Polen. Die Kernenergie ist [...] insbesondere in der aktuellen geopolitischen Situation,

unverzichtbar. Die Initiative von ZE PAK und PGE ist äusserst interessant, weil sie die strategischen Ziele Polens und Polens [Bestrebungen nach] billiger Energie und Energieunabhängigkeit umsetzt. Gemäss der von der polnischen Regierung im Jahr 2021 verabschiedeten polnischen Energiepolitik bis 2040 ist Patnow einer der potenziellen Standorte für ein Kernkraftwerk in Polen.» Zudem betonte er den weiteren Nutzen des Kernkraftwerksprojekts, das in Polen 40'000 Arbeitsplätze schaffen und der polnischen Wirtschaft viele Aufträge sowie dem Land grosse Steuereinnahmen bringen werde. Sasin sieht die Kernenergie als «wichtiges Grundelement» im polnischen Energiemix, das den Einsatz erneuerbarer Energiequellen unterstütze.

Polen will drittes Kernkraftwerk an einem weiteren Standort bauen

Gemäss NucNet hat Sasin bereits vor der Sitzung des Ministerrats am 2. November 2022 angekündigt, dass

Polen ein zweites Kernkraftwerk im Rahmen des Nuklearprogramms der Regierung und somit ein drittes Kernkraftwerk für Polen errichten möchte. Sasin habe nicht gesagt, ob es ebenfalls von Westinghouse gebaut werde. An der Ministerratsitzung wurden auch die Pläne für das zweite staatliche Kernkraftwerk bestätigt, dessen Bau beschleunigt werden solle. Wie bereits von Sasin angetönt, habe man sich aber noch nicht auf einen Technologielieferanten festgelegt, um Handlungsspielraum zu behalten. Somit könnte auch noch EDF zum Zug kommen. Nach dem Entscheid für Westinghouse hat EDF nochmals ihr Interesse bekundet, EPR-Reaktoren für das zweite staatliche Kernkraftwerk liefern zu wollen und ihr Angebot an die polnische Regierung erneuert. (M.A./B.G. nach WNA, *Nuclear Power in Poland, updated October 2022 und weiteren Quellen*)

Von Etikettenschwindeln und Mogelpackungen



Peter Quadri

Vorstandsmitglied
Nuklearforum Schweiz

Haben Sie das gewusst? Aus Ihrer Steckdose kommt Strom aus isländischer – nein, nicht inländischer, isländischer – Wasserkraft! Möglich macht dies das System der Stromkennzeichnung. Denn jede Kilowattstunde, die in Europa ein Kraftwerk verlässt, erhält ein Zertifikat, auf dem vermerkt ist, wie, wann und wo diese Kilowattstunde produziert worden ist: den sogenannten Herkunftsnachweis. Und so gibt's in der Schweiz «1 kWh Made in Iceland» zu kaufen!

Kennzeichnungen, Inhaltsangaben, Ursprungsbezeichnungen, Labels – sie sind seit Jahren und Jahrzehnten weit verbreitet und dienen der Transparenz und dem Schutz von Produzenten und Konsumenten. Ein informierter Kaufentscheid ist, so die These, ein besserer Kaufentscheid und macht aus uns mündige Kundinnen und Kunden. Täuschung und List wird dank dieser Transparenz ein Riegel geschoben. Und so wird sichergestellt, dass ein Freiburger Safranbrot auch wirklich im Kanton Freiburg gebacken und Rheintaler Riebelmais auch wirklich ausschliesslich in den Bezirken Unter- rheintal, Oberrheintal, Werdenberg, Sargans beziehungsweise den Gemeinden Fläsch, Maienfeld, Landquart, Jenins, Malans, Zizers, Untervaz beziehungsweise dem Fürstentum Liechtenstein mit einer Bestandsdichte von maximal sieben Pflanzen pro Quadratmeter angepflanzt wurde.

Für den so ermächtigten Konsumenten ist es daher ein Leichtes, sich gesundheitlich, ökologisch und sozial vorbildlich zu verhalten, indem er sich an die angesagten Labels hält und sich dadurch nicht nur das Produkt, sondern gleichzeitig auch noch das gute Gewissen und die gesellschaftliche Anerkennung kauft. Mit einem gezielten Griff ins Regal oder dem richtigen Mausclick ist das

Tierwohl garantiert, das Palmöl eliminiert und der CO₂-Ausstoss des Fluges kompensiert.

Gleiches gilt dank der Stromkennzeichnungspflicht auch für Strom. Die primären Ziele der Stromkennzeichnung seien, so der Bundesrat in einer Medienmitteilung aus dem Jahr 2004, «der Schutz und die transparente Information der Konsumentinnen und Konsumenten». Sie würden damit «eine wichtige Entscheidungshilfe für die Wahl eines bestimmten Stromprodukts in die Hand» erhalten. Ein Jahr darauf wurde die Pflicht zur Stromkennzeichnung 2005 verbindlich eingeführt. Die ganze Welt der Labels, Inhaltsangaben und Deklarationen hat allerdings einen Haken: Wer garantiert, dass auch das drin ist, was draufsteht? Wer garantiert, dass der versprochene Nutzen auch tatsächlich erzielt wird? Wer kontrolliert das?

Kurz: Es ist nicht alles Gold, was glänzt. Wenn auf einer Zitrone der Bio-Kleber drauf ist, dann darf man sich durchaus fragen, wie der Kleber dahingekommen ist. Aber es gibt selbstverständlich absolut seriöse Organisationen und Bundesstellen, die streng kontrollieren, dass kein Etikettenschwindel betrieben wird und keine Mogelpackungen ins Regal gelangen. Darauf können wir uns verlassen (und müssen uns verlassen können). →

Herkunftsnachweise für Strom werden getrennt vom Produkt gehandelt!

Umso interessanter ist die diesjährige Medienmitteilung des Bundesamts für Energie zur «Herkunft» unseres Stroms. Forsch titelt das Amt: «80 Prozent des Stroms aus Schweizer Steckdosen stammten 2021 aus erneuerbaren Energien!» Daran ist eigentlich nichts falsch zu verstehen. Genauso, wie das Freiburger Safranbrot AOP, das ich gerade esse, aus – sagen wir – Bulle stammt, genauso stammt also 80 Prozent des Stroms aus unseren Steckdosen aus erneuerbaren Energien. Davon muss ich als Konsumenten ausgehen und ausgehen können, wenn es das Bundesamt so sagt.

Nun hat das Bundesamt zur Medienmitteilung noch ein weiteres Dokument verlinkt, nämlich ein sogenanntes «FAQ zum Schweizer Strom-Liefermix». Dort wird gleich als erstes gesagt, der Liefermix basiere auf der Stromkennzeichnung. Klar! Dann wird erklärt, dass für jede Kilowattstunde Strom, die erzeugt werde, ein Herkunftsnachweis ausgestellt werde, der aber vom physischen Stromfluss entkoppelt sei. Aha! Mit diesen Herkunftsnachweisen könne anschliessend gehandelt werden. Ups, was heisst das?

Für die Konsequenzen, die diese Trennung von Produkt und Deklaration nach sich zieht, muss etwas tiefer ins Dokument eingestiegen werden. Es wird erklärt, dass diese Herkunftsnachweise ein Jahr gültig seien. Es sei daher, so wörtlich, «möglich, für den Stromverbrauch im Winter auch Herkunftsnachweise aus dem Sommer zu verwenden». Und an anderer Stelle wird gesagt, knapp 20 Prozent der Herkunftsnachweise für erneuerbare Energien stammten aus dem Ausland, unter anderem aus Island!

Auch der Stromverbrauch in der Nacht kann als Solarstrom ausgewiesen werden, steht da. Fairtrade-Espresso, gebrüht an einem kalten verschneiten Februarmorgen mit Fotovoltaik? Dank Herkunftsnachweisen kein Problem!

Doch halt: In der Schachtel aus Island, die mit dem Label «1 kWh Hydropower Made in Iceland» versehen ist, ist gar keine Kilowattstunde aus Island drin, sondern...nichts! Die Kennzeichnung auf der Schachtel kann für irgendeine Kilowattstunde, die im Laufe des Jahres verbraucht wird, eingesetzt werden. Wer also an einem kalten, verschnei-

ten Februarmorgen einen Fairtrade-Espresso mit Fotovoltaik trinken will, klebt der Kilowattstunde, die dazu nötig ist, einfach das Solarstrom- oder – wenn es Wasserkraft sein soll – das Made-in-Iceland-Label an.

Etikettenschwindel und Mogelpackung?

Der Vorwurf des «Green-Washing» mittels Stromkennzeichnung wird seit langem erhoben. Per Mausclick kann bei diversen Stromanbietern in der Schweiz ein Stromprodukt mit 100 Prozent Fotovoltaik bestellt werden – für das ganze Jahr, Tag und Nacht. Wenn genug Herkunftsnachweise auf dem Markt sind, könnte man sich sogar vollständig mit isländischer Wasserkraft versorgen. Kein Wunder, wurde im Parlament zu Bern auch schon vorgeschlagen, die Schweiz zu 100 Prozent erneuerbar zu machen – mit Herkunftsnachweisen!

Immerhin: Nun wird auch hier der Riegel langsam geschoben. Ab 1. Juli 2023 soll auf eine «quartalscharfe Stromkennzeichnung umgestellt» werden, so schreibt der Bundesrat. Damit soll «die Saisonalität von Stromproduktion und -verbrauch besser abgebildet» werden. Die Endverbraucher hätten dann «Gewissheit, dass die ausgewiesene Stromherkunft saisonal mit ihrem Verbrauch übereinstimmt». Das wurde – nach fast 20 Jahren – auch Zeit. Energiepolitische Wünsche und physikalische Realitäten nähern sich wieder an, auch wenn noch mehr möglich und wünschbar wäre, damit das Vertrauen in das Stromlabel (und die Kommunikation des Bundesamts für Energie) genauso hoch wird wie das Vertrauen in die Herkunft des Rheintaler Riebelmaises AOP.

Die gute Nachricht: Angesichts des physikalischen Strommix hierzulande könnte es sich bei der Kilowattstunde, die tatsächlich an einem kalten verschneiten Februarmorgen für den Espresso verbraucht wird, um einheimische Kernenergie handeln. Auch gut (oder fast noch besser)!

Peter Quadri ist Vorstandsmitglied beim Nuklearforum Schweiz und Senior Asset Manager Nuclear Power Generation bei der Alpiq AG. Zuvor war er stellvertretender Geschäftsführer der Organisation der Schweizerischen Stromverbundunternehmen (Swissselectric).

Schweiz

Eine Studie der Nuclear Energy Agency (NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) zeigt, dass ein **längerer Betrieb** der Schweizer Kernkraftwerke dem Land helfen könnte, bis 2050 das Netto-Null-Ziel kosteneffizient zu erreichen.

In Genf bespricht die **Deutsch-Schweizerische Kommission** insbesondere die Tiefenlagerung von radioaktiven Abfällen. Ein weiteres Thema ist die Rolle der Aufsichtsbehörden im Nuklearbereich in Hinblick auf die Energieversorgung im Winter 2022/23.



Zum ersten Mal seit Beginn der Pandemie findet die diesjährige Sitzung der Deutsch-Schweizerischen Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen (DSK) wieder physisch statt. (Foto: Ensi)

Während drei Tagen trainieren die für den Notfallschutz zuständigen Organisationen im Rahmen der **Gesamtnotfallübung 2022** ihre Zusammenarbeit bei einem simulierten, schweren Unfall im Kernkraftwerk Leibstadt.



Der Transport von Notfallmaterial wie Generatoren und Pumpen per Helikopter und Lastwagen der Armee zwischen dem Kernkraftwerk Leibstadt und dem Lager in Reitnau wird geübt. (Foto: Bundesamt für Bevölkerungsschutz)

Ingenieure des Idaho National Laboratory in den USA werden an der Drohne **Elios-3** des Schweizer Unternehmens Flyability geschult, damit sie sicher das Innere eines Lagersilos für hochaktive Abfälle erkunden können.

Am IAEA-Hauptsitz in Wien diskutieren 80 Vertreterinnen und Vertreter von Gemeinden mit zivilen kerntechnischen Anlagen aus 26 Nationen über Herausforderungen und Chancen als Standorte bestehender und zukünftiger Anlagen. Am Treffen nimmt auch eine **Schweizer Delegation** teil.



Die Teilnehmenden tauschen ihre Erfahrungen aus. (Foto: GMF Europe)

Nach mehrjähriger Vorarbeit kommen im September 2022 die ersten beiden Brennelement-Lagerbehälter aus dem Kernkraftwerk **Mühleberg** beim Zwischenlager in Würenlingen an.

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (Ensi) setzt die Richtlinie **ENSI-B08** «Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Wiederkehrende zerstörungsfreie Prüfungen» in Kraft. Die Richtlinie löst die entsprechenden Vorgaben des Nuklearinspektorats des Schweizerischen Vereins für technische Inspektionen (SVTI) ab.

Der Energie Club Schweiz lanciert die **Volksinitiative** «Jederzeit Strom für alle (Blackout stoppen)», die eine «klare Verantwortlichkeit für die Stromversorgung unseres Landes und Technologieoffenheit für alle klimaschonenden Stromproduktionsarten» verlangt. →

International

Der **Deutsche Bundestag** beschliesst die Laufzeitverlängerung der drei verbliebenen Kernkraftwerkseinheiten bis zum 15. April 2023. Die Abgeordneten sprechen sich mit 375 zu 216 Stimmen bei 70 Enthaltungen für den Gesetzesentwurf aus.

In Anbetracht der Energie- und Klimakrise billigt in **Frankreich** der Ministerrat Anfang November 2022 einen **Gesetzesentwurf**, der Kernkraftwerksneubauprojekte beschleunigen will. Dies gilt für Projekte in der Nähe von bestehenden Kernkraftwerksstandorten.

Zusammen mit Wasserkraft, Solarenergie und Windkraft unterstützt die **Kernenergie** das Ziel von **Netto-Null** bis 2050 und trägt zur Sicherung der Energieversorgung und Energieunabhängigkeit bei. Zu diesem Schluss kommt das Weissbuch «A New Dawn for Nuclear Power» von der Brookfield Asset Management Inc.

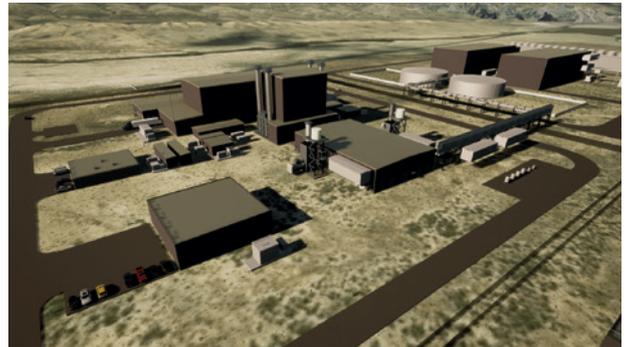
Der britische Reaktorentwickler **Rolls-Royce SMR** schliesst mit Unterstützung der Nuclear Decommissioning Authority (NDA) eine Studie zur Bewertung von Standorten für den möglichen Einsatz des Rolls-Royce-SMR ab.



Das Gelände des stillgelegten Kernkraftwerks Trawsfynydd ist einer von vier bevorzugten Standorten der Nuclear Decommissioning Authority (NDA), die sich für den Bau mehrerer SMR von Rolls-Royce eignen würden. (Foto: NDA)

Der kanadische Energieversorger Ontario Power Generation (OPG) reicht bei der Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) einen **Antrag auf Baugenehmigung** für einen **SMR** am Standort des Kernkraftwerks Darlington ein.

TerraPower und PacifiCorp arbeiten an einer Machbarkeitsstudie zum Einsatz des **natriumgekühlten Schnellen Reaktors** von TerraPower im Versorgungsgebiet von PacifiCorp.



Grafische Darstellung der Natrium-SMR-Anlage mit dem angebotenen thermischen Flüssigsalz-Energiespeichersystem von TerraPower. (Foto: TerraPower)

Das Minenunternehmen Denison Mines Corporation plant, das **In-situ-Auslaugungsverfahren** erstmals in Kanada in der noch unerschlossenen Phoenix-Lagerstätte im Osten des Athabasca-Beckens einzusetzen.



Bei der noch unerschlossenen Phoenix-Uranlagerstätte wird ein Feldversuch durchgeführt. (Foto: Screenshot Vimeo-Video, Denison Mines Corp.)

Die Canadian Nuclear Laboratories (CNL) und der private Fusionsentwickler General Fusion führen gemeinsam eine Reihe Projekte durch, um die Einführung der **kommerziellen Fusionsenergie** in Kanada zu beschleunigen.



Der Plasma Injector 3 (PI3) von General Fusion ist der grösste und leistungsstärkste Plasmainjektor der Welt. (Foto: General Fusion)

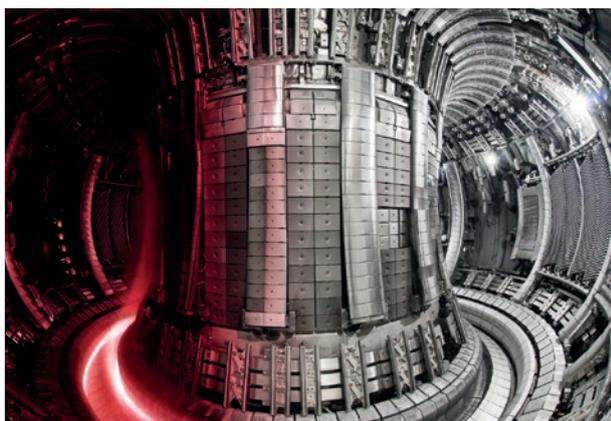
Mitte Oktober 2022 findet der offizielle Spatenstich für die **Triso-X Fuel Fabrication Facility** in Oak Ridge, Tennessee, statt. Sie wird die erste kommerzielle Anlage in Nordamerika sein, die Reaktoren mit Triso-Elementen, welche High-Assay Low-Enriched Uranium (Haleu) enthalten, versorgen kann.



Spatenstich in einer Zeremonie für die Triso-X Fuel Fabrication Facility. (Foto: X-energy)

Im Rahmen der **Machbarkeitsstudie** analysiert das finnische Energieversorgungsunternehmen Fortum Oyj die Voraussetzungen für den Bau neuer leistungsstarker Kernkraftwerke und SMRs in **Finnland und Schweden**.

Forscher und Forscherinnen des europäischen Programms EUROfusion testen anhand von **Helium-Plasmen** die Wechselwirkung mit dem Wandmaterial des Joint European Torus (JET).



JET-Innenraum mit darübergelegter Plasmaaufnahme. (Foto: UKAEA)

Der Energieversorger Kyushu Electric Power beantragt bei der japanischen Aufsichtsbehörde NRA, die Laufzeit der Kernkraftwerkseinheiten **Sendai-1 und -2** im Südwesten Japans um 20 auf 60 Jahre zu verlängern.



Die Kernkraftwerkseinheit Sendai-1 könnte bis 2044 und Sendai-2 bis 2045 betrieben werden, falls der Antrag von Kyushu Electric Power für eine Laufzeitverlängerung bewilligt wird. (Foto: Kyushu Electric Power)

Am 19. November 2022 wird der erste Beton für den nuklearen Anlagenteil gegossen und damit der Bau der WWER-1200-Einheit **El-Dabaa-2** in Ägypten offiziell lanciert. El-Dabaa-1 ist seit dem 20. Juli 2022 in Bau. →

Die Betreiberin des Kernkraftwerks Vogtle, die Southern Nuclear Operating Company, beginnt, den Reaktor von **Vogtle-3** erstmals mit **Brennstoff** zu beladen.



Die AP1000-Einheit Vogtle-3 soll im ersten Quartal 2023 den Betrieb aufnehmen. (Foto: Georgia Power)

Im Reaktor der Kernkraftwerkseinheit **Mochovce-3** in der Slowakei läuft am 22. Oktober 2022 erstmals eine sich selbststerhaltende Kettenreaktion ab.



Am Standort Mochovce etwa 100 km östlich von Bratislava sind zwei Kernkraftwerkseinheiten – Mochovce-1 und -2 – seit gut 20 Jahren in Betrieb. Zwei weitere Einheiten – Mochovce-3 und -4 – nähern sich der Inbetriebnahme. (Foto: Slovenské elektrárne)

Die nuklearen Sicherheitsbehörden Amerikas und Kanadas arbeiten bei der **Lizenzierung des SMR BWRX-300** von GE Hitachi zusammen. Die gegenseitige Nutzung und Anerkennung von Prüfergebnissen sollen Doppelspurigkeit vermeiden und zur Effizienz bei der Inbetriebnahme des SMR beitragen.

Die Kernkraftwerkseinheit **Barakah-3** gibt zum ersten Mal Strom ans lokale Netz ab. Damit ist in den Vereinigten Arabischen Emiraten (VAE) die dritte von vier Einheiten in Betrieb.



Der Standort Barakah in der Nähe von Ruwais in der Region Al Dhafra in Abu Dhabi umfasst vier koreanische APR-1400-Einheiten. (Foto: FANR)

Der neue nuklear angetriebene Eisbrecher **Ural** schliesst seine mehrtägige Probefahrt ab. Ural ist das dritte Schiff des russischen Projekts 22220, das für seine RITM-200-Zwillingsreaktoren bekannt ist. (M.A.)



Der Eisbrecher Ural ist für die ganzjährige Navigation entlang der Nordseeroute gebaut worden. (Foto: Baltic Shipyard)

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.

Aus- und Weiterbildung in der Kerntechnik – unabdingbar für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb



Herbert Meinecke

Kraftwerksleiter
Kernkraftwerk Gösgen

Ende November 2022 fand der Weiterbildungskurs des Nuklearforums Schweiz zum Thema «Herausforderungen in der Kerntechnik – Wissen erhalten und Nachwuchs fördern» im Trafo in Baden statt. Herbert Meinecke, Kernkraftwerksleiter von Gösgen, erklärt, weshalb auch künftig kompetente und motivierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für den Betrieb der Schweizer Kernenergieanlagen nötig sind.

In der Schweiz wird gerade viel diskutiert über Versorgungssicherheit und Energiepolitik. Sechzig Jahre Leistungsbetrieb für die Anlagen in der Schweiz gelten inzwischen auch von Seiten der Behörden als gesetzt. Ob es noch mehr werden, hängt nicht zuletzt davon ab, welchen Weg die Schweiz in der Energiepolitik in den nächsten Monaten und Jahren einschlägt. Doch was heisst das genau für die Aus- und Weiterbildung in unseren Werken? «Es gibt nur eines, was auf Dauer teurer ist als Bildung – nämlich keine Bildung.» Dieses Zitat stammt vom ehemaligen amerikanischen Präsidenten John F. Kennedy. Es trifft meiner Meinung nach ganz besonders auf die Weiterbildung in der Kerntechnik zu. Die wichtigste Komponente des Betriebes ist – neben einer sicheren Anlage natürlich – gut ausgebildetes und qualifiziertes Personal. In den nächsten Jahren gehen zahlreiche Mitarbeiter in den Werken in Pension. Wenn wir also den langfristigen Betrieb ins Auge fassen wollen, müssen wir uns vermehrt auch der Aus- und Weiterbildung zuwenden und dafür sorgen, dass spezifisches Know-how in den Anlagen generationenübergreifend an jüngere Mitarbeiter weitergegeben wird. Voneinander lernen ist bereits heute eine wichtige Maxime im Kraftwerksalltag und sie wird es auch bleiben. Doch dazu müssen – klarerweise – jüngere Mitarbeiter auch vorhanden sein. Wenn wir eine längere Betriebsdauer haben, müssen wir

inskünftig also permanent darum bemüht sein, Nachwuchstalente für die Nukleartechnik und insbesondere für die Arbeit «vor Ort» auf einer Anlage zu begeistern. Nachwuchsförderung ist ein elementarer Pfeiler eines erfolgreichen Kraftwerkbetriebes und betrifft alle Stufen und Bereiche. Es ist dementsprechend eine Aufgabe von uns allen und nicht von Einzelnen. →

Nach Abschluss seines Studiums in Elektrotechnik an der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig hielt **Herbert Meinecke** verschiedene leitende Funktionen bei der ABB Calor Emag Schaltanlagen AG in Hanau (D) inne. 1998 wechselte er als Leiter Marketing für Entwicklungsprojekte zur ABB Hochspannungstechnik AG in Zürich und war danach für die Neuentwicklung von gasisolierten Schaltanlagen verantwortlich. 2002 übernahm er die Leitung der Abteilung Elektrotechnik im Kernkraftwerk Beznau und 2011 die Position des stellvertretenden Kraftwerksleiters im Kernkraftwerk Gösgen. Seit dem 1. Oktober 2012 ist Meinecke Kraftwerksleiter.

Es mehren sich in der Schweiz in letzter Zeit gewichtige Stimmen, die eine weitere Nutzung der Kernenergie für eine klimafreundliche Stromversorgung fordern. Es ist also wichtig, dass wir uns branchenintern auch weiterhin dazu austauschen, damit wir gegenseitig von unseren Erfahrungen profitieren können. Es hat mich deshalb ganz besonders gefreut, dass ich Ende November an einer vom Nuklearforum organisierten Tagung mitwirken durfte, wo sich Mitarbeitende aller Stufen aus allen Schweizer Werke zu aktuellen Themen getroffen, ausgetauscht und voneinander gelernt haben. Es zeigt sich einmal mehr: Die Kerntechnik in der Schweiz bringen wir nur gemeinsam weiter. Wenn wir es nicht tun und jeder und vor allem jedes Werk abgeschottet für sich selbst schaut, müssen sich alle mühsam einen eigenen Erfahrungsschatz erarbeiten. Es wird also, um beim Zitat von Kennedy zu bleiben, am Ende für alle viel teurer. Wenn wir uns gegenseitig unterstützen, unsere Erfahrungen austauschen und andere an unserem Wissen teilhaben lassen, tragen wir dazu bei, dass die Kernkraftwerke weiterhin sicher und zuverlässig betrieben werden. Damit ebnen wir auch den Weg, dass die Kernenergie in der Schweiz eine Renaissance erleben wird. Nur gemeinsam sind wir stark. Packen wir es also auch gemeinsam an!

Weiterbildungskurs 2022 des Nuklearforums Schweiz

Der diesjährige Weiterbildungskurs war den komplexen Themen Wissenserhalt und Nachwuchsförderung in der Kerntechnik gewidmet. Am Kursvormittag lag der Schwerpunkt auf der Nachwuchsförderung. Branchen, die mit ähnlichen Rahmenbedingungen wie die Kerntechnik zu kämpfen haben, stellten ihre Strategien zur Mitarbeitergewinnung vor. Ausserdem wurden Möglichkeiten aufgezeigt, wie die Attraktivität als Arbeitgeber erhöht und der Auftritt auf dem Arbeitsmarkt verbessert werden können. Am Nachmittag stand der Wissenstransfer in Kernkraftwerken im Vordergrund. Ehemalige Studierende berichteten, wie sie den Einstieg in die Kernenergiebranche erlebt haben und präsentierten ihre Studienarbeiten. Daraus liessen sich wertvolle Schlussfolgerungen ableiten, wie künftige Generationen von engagierten Fach- und Berufsleuten gewonnen werden können, die die Kernenergie in der Schweiz voranbringen.

Der Weiterbildungskurs 2023 wird am 8. November wiederum im Trafo in Baden stattfinden.

Export der Energiestrategie

Bei der Themensuche für diese Kolumne hatten wir die Qual der Wahl. Dass der Bundesrat wegen dem drohenden Strommangel im aargauischen Birr ein mit Öl oder Gas befeuertes Kraftwerk in Auftrag gegeben hat, wäre dieses Formats alleweil würdig. Dabei ist uns aber die «Wochenzeitung» (WOZ), die auch schon Steilvorlagen für diese Rubrik geliefert hat, mit einem Wortspiel zuvor gekommen: Fossiler «Birrsinn».

So liefert nun eine Interpellation von FDP-Nationalrat Christian Wasserfallen vom 21. September 2022 den Anstoss für die folgenden Zeilen: «Ist der Ausschluss von Kernenergie in den Durchführungsabkommen sinnvoll?». Darin weist Wasserfallen darauf hin, dass die Schweiz ihre nationalen Klimaziele auch durch Klimaprojekte im Ausland erreichen darf. Sie habe, so der Interpellationstext, «deshalb zahlreiche Abkommen mit Partnerstaaten geschlossen (so etwa mit Ghana, Peru, Georgien oder jüngst mit der Ukraine). Die Schweiz gehört gemäss Bundesamt für Umwelt (Bafu) zu den Vorreitern bei solchen Abkommen (auch Durchführungsabkommen genannt) und setze entsprechend internationale Standards für Klimaprojekte. Alle Durchführungsabkommen enthalten die Auflage, dass die Schweiz keine Klimaprojekte finanziert, die durch den Einsatz von an sich emissionsarmer Kernenergie erfolgen.» Wasserfallen will in diesem Zusammenhang vom Bundesrat unter anderem wissen, welche Zusatzkosten der geforderte Kernenergieausschluss für die ärmeren Partnerstaaten auslöst,

und wie der Bundesrat sicherstellt, dass Partnerstaaten durch die Durchführungsabkommen in ihrer industriellen Entwicklung nicht behindert werden. Er betont mehrfach, dass die Kernenergie emissionsarm und klimaschonend sei.

Die Schweiz verlangt also von ihren Partnerstaaten, bei Klimaprojekten, die der Klimabilanz der Schweiz dienen sollen, den Verzicht auf eine der klimaschonendsten Energietechnologien. Eine saloppe Redewendung für solches Vorgehen lautet «sich selbst in den Fuss schiessen» – strikt im Einklang mit der Schweizer Energiepolitik (siehe Birr) und insofern bekannt. Neu für uns ist, dass diese Energiepolitik quasi unter dem Deckmantel der Entwicklungshilfe anderen Staaten aufgedrängt werden soll. Mögliche Konsequenzen sind, wie Wasserfallen darlegt, höhere Kosten für ärmere Länder beim Klimaschutz und grössere Hürden bei ihrer industriellen Entwicklung. Wir denken in diesem Zusammenhang an fast eine Milliarde Menschen, die keinen Strom haben. Gut möglich, dass die Schweiz so Partnerstaaten verliert, die ihre Klimaprojekte lieber mit nuklearfreundlicheren Ländern durchführen.

Wir finden diesen Anti-Atom-Kolonialismus ziemlich BIRReweich, um den Kreis zur WOZ zu schliessen. (M.Re. nach Wochenzeitung, 10. November 2022, und Curia Vista, Stand 11. November 2022)

Wenn Alltagshumor auf Kernspaltung trifft

Der Physiker und Komiker Vince Ebert hat ein Buch zur deutschen Energiewende mit dem Titel «Lichtblick statt Blackout» veröffentlicht, mit dem er gerade die Bestsellerlisten stürmt. Darin schafft er es auf äusserst unterhaltsame Weise den Zeitgeist in Sachen Nachhaltigkeit, falschem Wissenschaftsglauben und Klimaschutz kritisch im Lichte unumstösslicher Physik zu hinterfragen.

Vince Ebert entdeckte seine humoristischen Talente einst als junger Unternehmensberater, wo er jeweils gekonnt versuchte, die etwas trockenen Zusammenhänge auf den PowerPoint-Folien mit Witzeinlagen aufzulockern. Dieser Methodik ist der studierte Physiker bis heute treugeblieben.

Ebert geht das Thema – ganz der Physiker – mit einer logischen Systematik an. So beginnt das Buch mit der Aufstellung von fünf Mythen, in denen er die öffentlich gängigen Umweltnarrative geradezu seziert. So beschreibt er präzise und zugleich verständlich, wie technikerfern die Planungen und Überlegungen in deutschen Amtsstuben und Ministerien in Bezug auf die Netzstabilität sind. Angeblich sollen erneuerbare Energien problemlos ins Netz integriert werden können, obwohl sie im Gegensatz zu Kernkraftwerken ja keine netzstabilisierende Funktion haben ... An anderen Stellen im Buch rechnet er spöttisch vor, wieviel das Durchführen einer Klimakonferenz die CO₂-Bilanz belastet, wenn Tausende von Delegierten in der Weltgeschichte herumreisen und vor allem herumfliegen. Doch nicht alle im Buch vorgebrachten Argumente sind aus Schweizer Sicht neu: Dass Windkraftanlagen sich nicht gerade positiv auf die Vogelpopulation auswirken können, wird hierzulande schon seit einiger Zeit kritisch diskutiert.

An einzelnen Stellen des Buches überrascht der Komiker Ebert mit philosophischem und gesellschaftskritischem Tiefgang. So zeigt er gekonnt auf, wie Teile der Klimabewegung inzwischen mehr einer sektiererischen Religionsgemeinschaft ähneln denn einer politischen Bewegung. Mit pseudowissenschaftlicher Rhetorik wird ein beängstigendes Weltuntergangsszenario heraufbeschworen, Schuldgefühle werden in den breiten Massen geschürt und als einzige Lösung wird Busse und Verzicht gepriesen. Das längst vergessene Mittelalter ist plötzlich gar nicht mehr so weit weg. Ebert kritisiert auch die Vorein-

genommenheit im öffentlichen Diskurs und belegt dies mit überzeugenden Beispielen: Als etwa in den Siebzigerjahren seriöse Wissenschaftler in Talkshows auftraten und Kernenergie als Lösung für die damals drohende Energieknappheit propagierten, waren sie rasch als willige Handlanger der Strombarone verschrien. Wenn heute hingegen Politiker, die so nebenbei noch einträgliche Posten in der Solarbranche innehaben, im Fernsehen im Brustton altruistischer Überzeugung den Ausbau von Fotovoltaik predigen, dann gelten sie in den Augen vieler als selbstlose Weltretter und ernten tosenden Applaus.

Ebert belässt es aber nicht bei einer an sich durch und durch überzeugenden Kritik an der Energiewende. Im letzten Drittel des Buches zeigt er auch Lösungen und Alternativen zu den gängigen Weltuntergangsszenarien auf. Er plädiert hier – untermauert durch zahlreiche Beispiele – etwa für mehr Technologieoffenheit in der Gesellschaft. Dabei beschränkt er sich nicht nur auf den Beitrag der Kerntechnik zum Weltklima. Er beginnt mit einer anderen im deutschsprachigen Raum ebenfalls umstrittenen Technologie: mit der Gentechnik. Ebert arbeitet hier gekonnt Parallelen zur Kernenergie-debatte heraus. So zeigt er auf, wie dank Gentechnik die Insulinproduktion für Diabeteskranke massiv verbessert werden konnte. Den beissenden Spott, dass die dazugehörige Industrie in den Achtzigerjahren wegen kritischer Interventionen eines gewissen Joschka Fischers gleich nach Frankreich abwanderte, kann sich Ebert dann nicht verkneifen. In diesem Teil des Buches geht Ebert auch auf neuartige Kernreaktoren als künftige Lösungsansätze ein (etwa der Dual-Fluid-Reaktor oder der chinesische Flüssigsalz-Reaktor). Aus Schweizer Sicht freut hier insbesondere die eingehende Behandlung der Genfer Startup-Firma Transmutex.

Zusammenfassend ist das Buch ein überzeugendes Plädoyer für den menschlichen Fortschritt und vor allem für



Vince Ebert ist Diplom-Physiker und Kabarettist. Bekannt wurde Ebert mit seinen Bühnenprogrammen «Physik ist sexy» und «Denken lohnt sich». Bis heute ist sein Motto: «Make science great again», das gilt in Zeiten wissenschaftlich begründeter Debatten mehr denn je. Vince Ebert ist bekannt aus der ARD-Sendung «Wissen vor acht – Werkstatt». Er ist Autor mehrerer Bücher und Kolumnen. (Foto: Vince Ebert)

etwas mehr Optimismus in der aktuell doch etwas an Endzeitstimmung erinnernden Klima- und Energiedebatte. Wer dies in humoristischer Aufbereitung mag, der ist mit dem Buch von Vince Ebert sehr gut bedient. (L.A.)

Vince Ebert. Lichtblick statt Blackout: Warum wir beim Weltverbessern neu denken müssen. dtv Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, 2022
ISBN: 978-3-423-26342-9

Generalversammlung des Nuklearforums Schweiz

Dienstag, 16. Mai 2023, ab 16 Uhr im Casino Bern



Foto: Casino Bern

Nuklearforum auf Facebook

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

www.facebook.com/NuklearforumSchweiz



Foto: Nuklearforum Schweiz

Neue Folge des Podcasts «NucTalk»

In der 20. NucTalk-Folge ist Rainer Klute zu Gast. Wir reden mit ihm über den Verein Nuklearia, dessen Mitgründer und Vorsitzender er ist, über die Energiepolitik und -debatte in Deutschland und erfahren, warum das Land seiner Meinung nach den Atomausstieg rückgängig machen und neue Kernkraftwerke bauen muss.

www.nuklearforum.ch/de/podcasts

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

SGK-Apéro-Daten 2023

Der SGK-Apéro der «Wissen»-schaf(f)l! findet jeweils am Donnerstag der folgenden Daten statt: **26. Januar, 9. März, 14. September und 2. November.**

www.kernfachleute.ch



Foto: SGK / Max Brugger

38th Short Course on Multiphase Flows

Vom **13. bis 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 Ingenieure, wie auch an 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>

Alle Veranstaltungen sind abhängig von der Entwicklung der Coronavirus-Pandemie und den behördlichen Auflagen.

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.)

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.

