

Bulletin 3

September 2015

Interview zur Entwicklung des chinesischen HTR-PM

Seite 4



Thorium als
Kernbrennstoff
Seite 8

Weltraumforschung
dank Kernenergie
Seite 13

WWER:
gestern – heute – morgen
Seite 16

Editorial	3	Kolumne	33
Raison d'Être	3	Die Drei ??? und die Energievision 2050	33
Forum	4	Hoppla!	36
Gasgekühlter Hochtemperaturreaktor: Vorstoss in Chinas nukleare Zukunft	4	Deutsche Anti-AKW-Missionare	36
Hintergrundinformationen	8	In eigener Sache	37
Thoriumreaktoren: Chancen und Hürden	8	Zum Gedenken Der ehemalige Präsident der SVA, Prof. Walter Winkler, ist 88-jährig verstorben	37
Mit Kernkraft an den Rand unseres Sonnensystems und darüber hinaus	13	Dritter Forumstreff: «Akzeptanz ist kein Kriterium»	38
Die Entwicklung russischer Druckwasserreaktoren	16	Ankündigung: Vertiefungskurs 2015 des Nuklearforums Schweiz	39
Tschernobyl – 29 Jahre danach	20		
Medienschau	25	Pinnwand	40
Wieder «Atomstrom» in Japan	25		
Fenster zum E-Bulletin	28		
Schweiz	28		
International	29		

Impressum

Redaktion:

Marie-France Aepli (M.A., Chefredaktorin); Beat Bechtold (B.B.);
Max Brugger (M.B.); Dr. Peter Bucher (P.B.); Matthias Rey (M.Re.);
Sandra Rychard (S.Ry.); Dr. Michael Schorer (M.S.)

Herausgeber:

Dr. Michaël Plaschy, Präsident
Beat Bechtold, Geschäftsführer
Nuklearforum Schweiz
Konsumstrasse 20, Postfach 1021, CH-3000 Bern 14
Tel. +41 31 560 36 50, Fax +41 31 560 36 59
info@nuklearforum.ch
www.nuklearforum.ch oder www.ebulletin.ch

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

Copyright 2015 by Nuklearforum Schweiz ISSN 1661-1470 –
Schlüsseltitel Bulletin (Nuklearforum Schweiz) – abgekürzter
Schlüsseltitel (nach ISO Norm 4): Bulletin (Nuklearforum Schweiz).

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

© Titelbild: Shidao Bay Nuclear Power Plant

Beat Bechtold

Geschäftsführer Nuklearforum Schweiz



Raison d'Être

AKW-Blackout, Notabschaltung, akute Sicherheitsprobleme, Totalausfall und so weiter. Das sind nur einige der Schlagworte, von denen Exponenten der Grünen Partei zurzeit schreiben oder sprechen. Zufall? Nein. Die Grüne Partei sieht ihre Felle davon schwimmen – in dreifacher Hinsicht: Erstens zeigen die Prognosen, dass die linke Ökopartei im Herbst bei den Eidgenössischen Wahlen ihren Wähleranteil nicht halten können und voraussichtlich zu den Verlierern der Parlamentswahlen gehören wird. Zweitens droht ihre Atom-Ausstiegsinitiative zu scheitern – ähnlich wie im vergangenen Jahr im Kanton Bern die Initiative «Mühleberg vom Netz». Mit entsprechendem Säbelschleichen muss wohl auch die eigene Klientel bei Laune gehalten werden, damit die Ablehnung durch das Stimmvolk nicht gleichartig hoch ausfällt wie bei der Volksinitiative «Energie- statt Mehrwertsteuer». Drittens blieben die grünen Rufer mit ihrem Anliegen zur Laufzeitbeschränkung in der zuständigen Kommission des Ständerats Mitte August bei der Beratung über die Vorlage zur Energiestrategie 2050 in der Minderheit.

Letzterem kommt im Plenum des Ständerats in der Herbstsession richtungsweisende Bedeutung zu. Nach der langen Debatte im Nationalrat über die Energiestrategie im Dezember 2014, hat sich eine knappe Mehrheit der ständerätlichen Energiekommission in den Beratungen zum Kernenergiegesetz in zwei wesentlichen Punkten unterschiedlich zum Nationalrat geäußert. Einerseits soll gemäss der Kommissionsmehrheit sowohl auf ein Langzeitbetriebskonzept im Allgemeinen als auch auf eine Laufzeitbeschränkung im Besonderen verzichtet werden. Im Nationalrat hatte sich für diese zwei Bestimmungen noch eine Mehrheit durchgesetzt.

Es bleibt zu hoffen, dass sich die weitsichtigen Politikerinnen und Politiker der kleinen Kammer der Kommissionsmehrheit anschliessen und damit auch den bundesrätlichen Argumenten bezüglich Rechts- und Investitionssicherheit folgen. Zudem bilden weder ein Langzeitbetriebskonzept noch eine Laufzeitbeschränkung einen Mehrwert für die Betriebssicherheit. Das heutige System einer unbefristeten Betriebsbewilligung mit laufender Nachrüstpflicht hat sich sehr gut bewährt und im internationalen Vergleich zu einem hohen Sicherheitsstandard geführt. Wenn der Ständerat nun auch noch das Bauverbot von Kernkraftwerken aus dem Gesetz kippt, wäre auch ein der Schweiz unwürdiges Technologieverbot vom Tisch. Und die Grüne Partei könnte bis auf Weiteres ihre Raison d'Être aufrechterhalten.

Es gibt die Grünen noch. Hoffentlich auch noch so lange, wie in der Schweiz Kernkraftwerke am Netz sind. Im Gegensatz zu den Kernenergiegegnern betreiben die Schweizer Kernkraftwerke nämlich nachhaltigen Umwelt- und Klimaschutz. Seit fast einem halben Jahrhundert. Mit CO₂-armer Stromproduktion, die stabile und verlässliche Bandenergie für die Schweizer Bevölkerung und unsere Wirtschaft garantiert.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Bechtold'.

Interview mit Prof. Wang Haitao

Universität Tsinghua in Peking, und

Chen Meicen

Sprecherin des Kernkraftwerks Shidao-Bay

Interview: Guo Wentao¹

Gasgekühlter Hochtemperaturreaktor: Vorstoss in Chinas nukleare Zukunft

Wenig beachtet von der westlichen Öffentlichkeit wird gegenwärtig in China ein selbst entwickelter Kugelhaufenreaktor gebaut. Der Leitende Ingenieur Wang Haitao und eine Vertreterin der Kraftwerksgesellschaft haben dem Nuklearforum ein Interview über den Stand und das Ziel dieses innovativen Entwicklungsvorhabens gewährt.

Der chinesische modulare Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktor HTR-PM (High Temperature Gas-cooled Reactor – Pebble Bed Module), der am Standort Shidao-Bay in der Provinz Shandong am Gelben Meer gebaut wird, ist offiziell als Demonstrationsprojekt eingestuft. Was soll dort demonstriert werden?

Chen Meicen, Sprecherin des Kernkraftwerks Shidao-Bay: Der HTR-PM ist eines der Hauptprojekte in Chinas nationalem Strategie- und Technologieprogramm für grosse, fortgeschrittene Druckwasserreaktoren und gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren. Ziel beim HTR-PM ist, Lösungen für technische Probleme bei der Anwendung in industriellem Massstab zu entwickeln, ingenieurtechnische Experimente für die Verifizierung durchzuführen und die Produktion von Hochleistungs-Brennelementen vorzubereiten. Dazu kommt der Bau eines Kernkraftwerks mit zwei Reaktorblöcken zu je 100 MW_e und einer gemeinsamen Dampfturbine – auf der Grundlage von Kenntnissen, die in China entwickelt worden sind. Sie basieren auf dem Bau und Betrieb des Forschungsreaktors HTR-10 an der Tsinghua-Universität in Beijing, der 2003 den Betrieb aufgenommen hat.

Welches sind die grössten Herausforderungen?

Chen Meicen: Der HTR-PM ist das weltweit erste Demonstrationsprojekt eines modularen gasgekühlten Hochtemperaturreaktors und stellt eine chinesische Premiere dar in Sachen ingenieurtechnische Aus-



Wang Haitao ist ausserordentlicher Professor am Institute of Nuclear and New Energy Technology (INNET) an der Universität Tsinghua in Peking. Dort führt er die Ingenieurtechnische Abteilung für die gasgekühlten Hochtemperaturreaktoren und ist Leitender Ingenieur des Prozesssystems im nuklearen Teil des HTR-PM-Demonstrationsprojekts. Er hat zahlreiche Studien zum Verhalten von Kernkraftwerken bei Erdbeben, zur Erdbebenauslegung und über die entsprechenden Algorithmen der numerischen Mechanik durchgeführt.

¹ Guo Wentao ist Student im Masterstudiengang Nuclear Engineering an der ETH Zürich. Er absolviert von Juli bis September 2015 ein Praktikum beim Nuklearforum Schweiz.



Das erste Reaktorgebäude ist hochgezogen. Die Spruchbänder mahnen die Arbeiter, die Sicherheitsregeln einzuhalten und zu verbessern sowie auf Ausreden zu verzichten und allfällig auftretende Probleme sofort den Vorgesetzten zu melden.

Foto: Shidao Bay Nuclear Power Plant

legung, Baustellenbetrieb, Komponentenherstellung usw. Es gibt dafür keine Referenzanlagen. Schwierigkeiten lassen sich da nicht vermeiden. Doch dank der

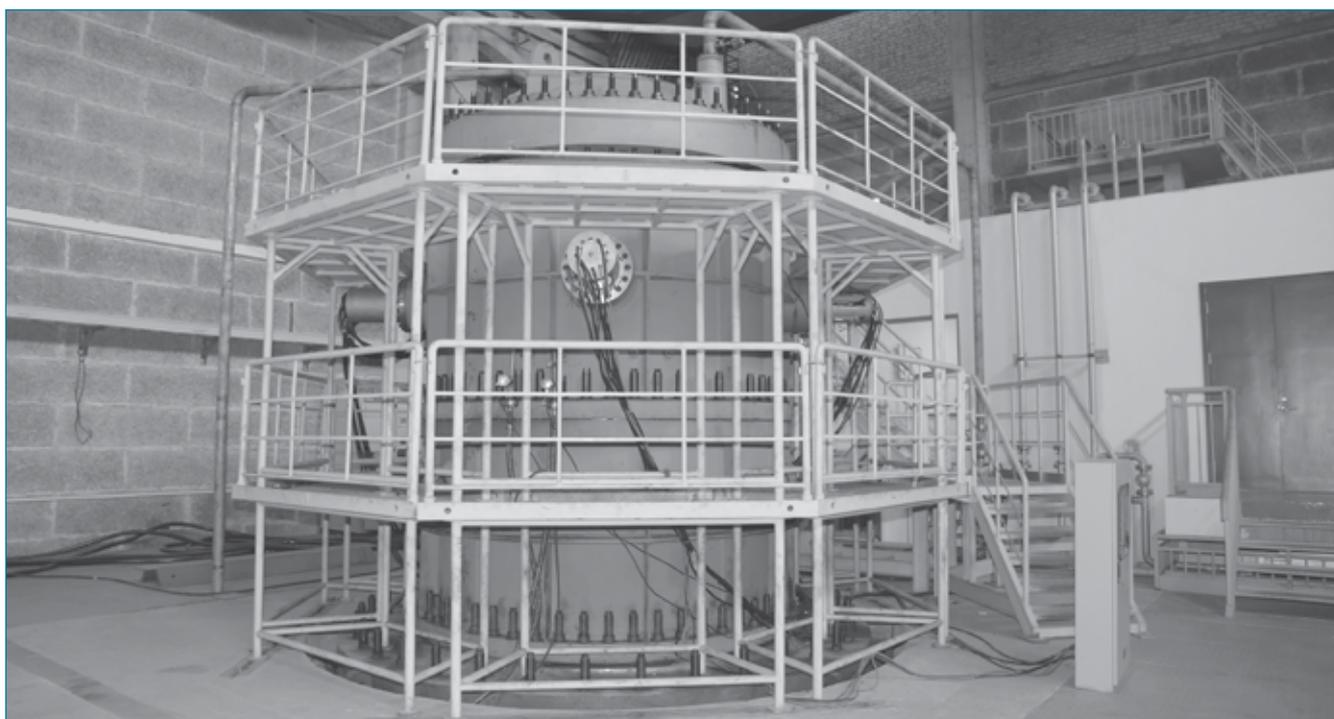
gemeinsamen Anstrengungen aller involvierten Akteure schreitet das HTR-PM-Projekt stetig voran. Wir haben bauliche und technische Probleme überwunden und zum ersten Mal in China im Winter das Betonfundament des nuklearen Teils eines Kernkraftwerks gegossen. Der untere Teil des Reaktordruckbehälters für den ersten Reaktorblock ist die bisher grösste in China je geschmiedete Komponente. Weitere Highlights sind die elektromagnetische Aufhängung des selbst entwickelten Pumpensystems zur Umwälzung des Kühlmittels Helium und hundert Stunden Verifizierungsexperimente sowie die versuchsweise Herstellung und Installation der Spiralrohre für die Dampferzeuger.

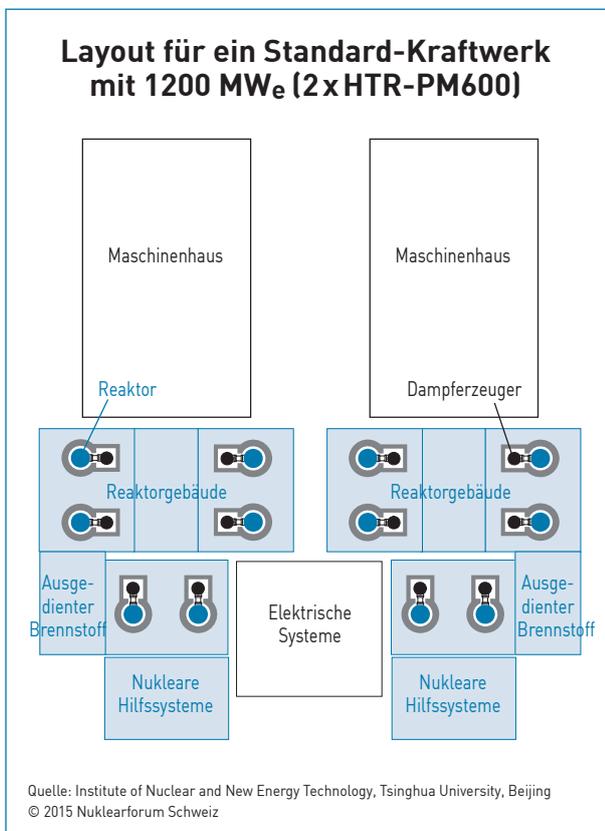
Wie weit sind Sie bei der Entwicklung der Brennstoffkugeln?

Chen Meicen: Von September 2012 bis Dezember 2014 fanden im EU-Forschungszentrum Petten in den Niederlanden die Bestrahlungstests der Brennstoffkugeln für den HTR-PM statt. Fünf zufällig ausgewählte Kugeln wurden dabei im dortigen Hochflussreaktor bestrahlt. Die Tests entsprachen 351 Reaktorbetriebstagen bei voller Leistung. Die durchschnittliche Temperatur im

Innovative Technik aus China: Kopfstück der Umwälzpumpe für das Kühlmittel Helium.

Foto: Tsinghua University





Layout eines geplanten Standard-Kernkraftwerks mit zwei HTR-PM600 und einer Gesamtleistung von 1200 MW_e. Die Anlage wird aus Grundeinheiten mit zwei 250 MW_{th}/100 MW_e-Reaktoren zusammengesetzt. Drei t-förmig angeordnete Grundeinheiten treiben eine Dampfturbine an und liefern zusammen 600 MW_e. Zusätzlich zur Stromproduktion kann Prozess- oder Fernwärme abgezweigt werden.

Innern der Elemente erreichte 1050 °C und der höchste Abbrand betrug 113 Gwd/tU – mehr als der höchste Abbrand bei normalem Betrieb. Die Spaltgasfreisetzung lag stabil bei sehr tiefen 10⁻⁹% des Inventars, viel besser als in der Auslegung vorgesehen.

Wie es der Name sagt ist der HTR-PM ein modularer Reaktortyp. Gibt es schon Pläne für weitere Module am Standort Shidao-Bay oder anderswo?

Wang Haitao, Professor an der Universität Tsinghua: Gegenwärtig besteht kein konkreter Plan. Aber in Shidao-Bay gibt es genug Raum für den Bau von bis zu zehn Hochtemperaturreaktoren mit einer Gesamtleistung von 1000 MW_e sowie grosse Demonstrationsprojekte mit Druckwasserreaktoren der Typen CAP1400

oder CAP1700 in Zusammenarbeit mit der State Nuclear Power Technology Corporation (SNPTC). Die geplante Kapazität beträgt 9000 MW_e. Die China Huaneng Group arbeitet zusammen mit der Universität Tsinghua und der China Nuclear Engineering Group Corporation an einem multi-modularen 600MW_e-Hochtemperaturreaktor-Projekt. Standortwahlverfahren, Machbarkeitsstudien und Vorbereitungsarbeiten sind bereits im Gang.

Wann wird der HTR-PM für die kommerzielle Nutzung bereit sein? Wie lange soll er in Betrieb bleiben? Gibt es Pläne, den HTR-PM zum wichtigsten Reaktortyp in China zu machen?

Chen Meicen: Insgesamt dauert das HTR-PM-Demonstrationsprojekt 59 Monate. Seit dem Giessen des ersten Betons im Dezember 2012 kam das Projekt gut voran. Mittlerweile ist der letzte Abschnitt des Reaktorgebäudes gebaut. Auch die Maschinenhalle ist inzwischen gedeckt. Das HTR-PM-Projekt ist jetzt beim Einbau der Hauptkomponenten angelangt. Der Reaktor soll ab 2018 kommerziell genutzt werden und gemäss Auslegung 40 Jahre in Betrieb sein. Im nationalen Wissenschafts- und Technologieplan 2006–2020 ist der gasgekühlte Hochtemperaturreaktor als eines von 16 bedeutenden Spezialprojekten aufgelistet. Wir schliessen nicht aus, dass er zum meistgenutzten Reaktortyp in China wird.

Wird diese Technologie ins Ausland verkauft werden?

Wang Haitao: Parallel zu den Vorbereitungsarbeiten der Huaneng Group in Shidao-Bay haben Singapur, Saudi-Arabien und weitere Staaten Interesse am Erwerb der Technologie nach der erfolgreichen Fertigstellung des ersten gasgekühlten Hochtemperaturreaktors in China gezeigt. Staaten in Südostasien, dem Mittleren Osten und sogar mehrere europäische Länder wie auch einige potenzielle Kunden in China sind an der Anwendung dieser Technologie interessiert. Entsprechende Kooperationsverhandlungen sind im Gang. Wir können auf die Kunden zugeschnittene Komplettlösungen mit dem HTR-PM600 anbieten und dabei für Auslegung, Fertigung, Bau, Brennstoffherstellung, Projektmanagement und Lizenzierung die Erfahrungen mit dem HTR-PM nutzen. Der mit der Projektentwicklung geführte Nachweis des «Sicher- und Effizient»-Prinzips dieses Reaktortyps der Generation IV wird es China ermöglichen, vom Technologieimporteur zum Exporteur zu werden. Im Rahmen der nationalen Exportstrategie für High-End-Technologien ist es sehr wahrscheinlich, dass der Kugelhaufenreaktor exportiert wird. →

Kann der Brennstoff nach Gebrauch wieder- aufgearbeitet werden? Gibt es dafür in China bereits Technologien oder Pläne, diese zu entwickeln?

Wang Haitao: Wenn eine Brennstoffkugel an der Unterseite des Reaktordruckbehälters ins Brennstoffführungssystem entladen wird, wird unverzüglich ihr Abbrand gemessen. Hat dieser die Auslegungslimite noch nicht erreicht, wird die Kugel an der Oberseite des Reaktordruckbehälters wieder in den Reaktorkern eingeführt. Andernfalls gilt sie als ausgedient und wird in das entsprechende Lagerungssystem verbracht. Dort werden jeweils 40'000 ausgediente Brennstoffkugeln zusammen in einen Lagerbehälter verpackt. Sobald ein solcher Behälter voll ist, wird er versiegelt und in einen belüfteten Lagerschacht transportiert. Je Lagerschacht werden fünf Kanister übereinander gestapelt. Im Nuklearteil eines HTR-PM600 hat es Lagerplatz für den ausgedienten Kernbrennstoff von sechs Reaktormodulen während zehn Jahren Betriebszeit. Nach einer Lagerzeit von zehn Jahren werden die Brennstoffkugeln in ein grosses Zwischenlager am gleichen Standort verbracht, wo sie für den Rest der Betriebszeit des Werks bleiben. Die Wiederaufbereitung ist technisch machbar und ähnlich wie die Technik, die bei Druckwasserreaktoren zum Einsatz kommt. China ist dabei, diese Technologie zu entwickeln und künftig einzusetzen.

Wie gehen Sie mit den Abfällen aus dem laufenden Betrieb um?

Chen Meicen: Die gasförmigen und flüssigen radioaktiven Abfälle aus dem Betrieb werden gesammelt und in entsprechenden Abfallbehandlungsanlagen für

eine bestimmte Zerfallszeit aufbewahrt. Diese Abfälle können nach der Freimessung normal entsorgt werden. Feste schwach- und mittelaktive Abfälle sowie ausgedienter Kernbrennstoff werden wie geschildert auf dem Kraftwerksareal gelagert.

Es wurde nachgewiesen, dass der HTR-PM einen Loca, also einen Kühlmittelverluststörfall, überstehen kann. Gibt es Sicherheitsfragen, die Sie noch klären müssen?

Wang Haitao: Richtig: Die Erhöhung der Brennstofftemperatur als Folge von Reaktivitäts- oder Kühlmittelverluststörfällen jeglicher Art verursacht keine signifikante zusätzliche Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus den Brennstoffkugeln. Zudem zeichnen folgende weitere Sicherheitsmerkmale den HTR-PM aus: Erstens ist das radioaktive Inventar im primären Heliumkühlkreis unter normalen Betriebsbedingungen sehr gering. Sogar wenn diese geringe Radioaktivitätsmenge bei einem Unfall in die Umwelt gelänge, wären in der Umgebung keine Notfallmassnahmen nötig. Zweitens: Die Folgen von Störfällen mit Wasser- oder Lufteintritt hängen vom Volumen der Menge ab. Der Eintrittsprozess und die damit verbundenen chemischen Reaktionen gehen langsam vor sich und können mit sehr einfachen Massnahmen gestoppt werden, die innerhalb von Stunden oder gar wenigen Tagen ergriffen werden. Darüber hinaus übersteht der HTR-PM auch Störfälle wie den Verlust der externen Stromversorgung, den Ausfall des Haupt-Heliumgebläses oder den Verlust der primären Wärmesenke ohne Schaden. (Aus dem Englischen von M.Re.)

Hintergrundinformationen

Thoriumreaktoren: Chancen und Hürden

Alle Kernkraftwerkseinheiten, die heute in Betrieb stehen, basieren auf dem spaltbaren Uran-235 (U-235). Es gibt aber noch zwei weitere, mit thermischen Neutronen spaltbare Isotope: Uran-233 (U-233) und Plutonium-239 (Pu-239). Während letzteres in Mischoxid-Brennelementen kommerziell verwendet wird, hat sich das mit Thorium erzeugbare U-233 zur Stromproduktion bisher nicht durchgesetzt. Eine Vielzahl von Konzepten ist aber in Entwicklung.

Sowohl U-233 wie Pu-239 kommen in der Natur nicht vor. Pu-239 entsteht aus U-238 bei der Bestrahlung mit Neutronen. U-233 entsteht analog aus Thorium-232 (Th-232) durch die Reaktionskette $\text{Th-232} + n \rightarrow \text{Th-233} + \beta^- \rightarrow \text{Pa-233} + \beta^- \rightarrow \text{U-233}$ (Pa ist Protactinium). Nachdem Alvin Weinberg im amerikanischen Oak Ridge National Laboratory in den 1960er-Jahren während einiger Jahre einen Reaktor auf dieser Grundlage betrieben hatte, geriet der «Thoriumreaktor» weitgehend in Vergessenheit. In seiner letzten Publikation¹ erinnerte Edward Teller zusammen mit Ralph W. Moir an den vergessenen Reaktortyp.

Thorium-Konzept in Indien ...

Dass Thorium vergessen ging, gilt für die USA und im weiteren Sinn für den Westen. In Indien dagegen war Thorium immer ein Thema. Indien verfügt über grosse Vorkommen an Thorium und Anfang der 1960er-Jahre schienen die weltweiten Vorräte an Uran sehr beschränkt. Es ist das Verdienst des damaligen Präsidenten der indischen Atomenergiebehörde, Homi Bhabha,

das Potenzial des Thoriums, aber auch die Probleme, die seiner Nutzung im Weg standen, bereits in den frühen 1960er-Jahren erkannt zu haben. Er entwarf einen dreistufigen Plan mit dem Indien innert einiger Jahrzehnte dank Thorium energieautark werden sollte.

Der Plan basiert auf der Einsicht, dass Thorium selbst eben kein Nuklearbrennstoff ist und dass ein Thoriumreaktor infolge dessen durch ein spaltbares Material «gezündet» werden muss. Bhabha entschied sich für Plutonium. Folgerichtig sah er die folgenden drei Etappen vor:

1. Indien entwickelt oder beschafft Kernreaktoren auf der Basis des Uran-Plutonium-Zyklus. Die abgebrannten Brennstäbe werden rezykliert und das entstandene Plutonium abgetrennt.
2. Mit dem so gewonnenen Plutonium werden Schnelle Brüter auf der Basis von Uran angefahren. Damit wird die Produktion von Plutonium intensiviert.
3. Sobald genügend Plutonium vorhanden ist, werden Thoriumreaktoren gebaut, deren innerer Kern aus Plutonium besteht, der von einer Hülle von Thorium umgeben ist, in der U-233 erbrütet wird. Nach und nach werden die abgebrannten Pu-Stäbe durch solche mit U-233 ersetzt.

Phase 1 läuft seit Jahren, zum grössten Teil mit Schwerwasserreaktoren und Natururan. Zurzeit sind in Indien 18 solche Reaktoren in Betrieb, die Strom und Plutonium produzieren. Die Entwicklung und der Bau von Schnellen Brütern – die zweite Phase – verzögern sich seit längerem. Dieses Jahr soll nun der erste Brüter in Kalpakkam im Bundesstaat Tamil Nadu in Betrieb gehen. Die dritte Phase ist in Vorbereitung. Experimente mit Thoriumstäben im Neutronenfluss sollen die Daten und Erfahrungen liefern, die für den Bau des ersten Thoriumbrüters benötigt werden. Das dabei gewonnene U-233 reicht bereits, um einen kleinen Forschungsreaktor zu betreiben. Zurzeit ist dies der einzige U-233-Reaktor auf der Welt. →

¹ Moir R. W. and Teller E., «Thorium-Fueled Underground Power Plant Based on Molten Salt Technology», in: Nuclear Technology, Volume 151/Number 3, pages 334–340, September 2005

Zum Autor

Der promovierte Physiker Simon Aegerter leitete von 1969 bis 1980 die Abteilung Exakte Wissenschaften und Naturwissenschaften des Schweizerischen Nationalfonds. Danach war er bis 1986 Direktor des Technorama der Schweiz. Anschliessend war er als Unternehmer tätig, zuletzt zusammen mit seinem Sohn im Bereich Internetsoftware. Im Jahr 2001 gründete Aegerter die cogito foundation und seit 2013 betreibt er das Blog kaltduschenmitdoris.ch.

... und China

Ein ganz anderes Konzept verfolgt China. Die rasante wirtschaftliche Entwicklung der letzten Jahrzehnte hatte einen gigantischen Strombedarf zur Folge, der bis heute hauptsächlich mit Kohle und wenig Wasserkraft gedeckt wird. Auch der obersten Führung des Landes ist nicht verborgen geblieben, dass das zu riesigen Umwelt- und Gesundheitsproblemen führt. Sie hat sich deshalb entschlossen, voll auf die Entwicklung der Kernenergie zu setzen. Derzeit werden hauptsächlich Reaktoren der Generation 3+ gebaut, also Leichtwasserreaktoren (LWR). Daneben wird mit allen denkbaren Reaktortypen experimentiert, auch mit Thorium. Dieser Teil der chinesischen Reaktorforschung hat eine interessante Vorgeschichte:

Die oben erwähnte Publikation von Moir und Teller war wissenschaftlich. Moir verfasste daraufhin zusammen mit Robert Hargraves eine populärwissenschaftliche Version. Sie beschrieben den experimentellen Flüssigsalzreaktor, den Alvin Weinberg in den 1960er-Jahren im Oak Ridge National Laboratory erfolgreich betrieben hatte und schilderten eine mögliche Weiterentwicklung.

Die Publikation erschien in der viel gelesenen Zeitschrift «American Scientist»² und fand auch die Aufmerksamkeit des Vizepräsidenten der chinesischen Akademie der Wissenschaften, Jiang Mian Heng. Als hoher Wissenschaftsfunktionär (und Sohn des früheren Staatspräsidenten Jiang Ze Min) hatte er genug Einfluss, um sofort ein entsprechendes Forschungsprojekt zu lancieren. Es gelang ihm, eine Einladung des amerikanischen Department of Energy (DOE) nach Oak Ridge zu erwirken, um alle verfügbaren Informationen über den Weinberg-Reaktor zu beschaffen. Gegenwärtig arbeiten 450 Personen am Institute of Applied Physics in Shanghai an der Entwicklung eines Flüssigsalz-Thorium-Reaktors.

Schwerpunkt der Forschung sind Fragen der Korrosion. Es ist klar, dass Fluoridsalze bei hohen Temperaturen sehr aggressiv sind und dass nur sehr korrosionsbeständige Legierungen der Belastung während Jahren standhalten können. Als Zwischenschritt sind Tests mit Graphitkugeln vorgesehen, die den Brennstoff enthalten und die mit einer Fluoridschmelze gekühlt werden.



Experimente der Frühzeit: Der Nuklearpionier Alvin Weinberg notiert den Erfolg des Flüssigsalz-Reaktors in Oak Ridge im Jahr 1967.

Foto: Oak Ridge National Laboratory

Eine weit fortgeschrittene Entwicklung ist der gasgekühlte Hochtemperaturreaktor. Ein solcher experimenteller Reaktor läuft seit über zehn Jahren an der Tsinghua Universität in Beijing. Bei Wei Hai in der Provinz Shandong ist ein Prototyp in Bau, der mit zwei Reaktoren im Juli 2017 in Betrieb gehen soll. Es handelt sich um einen Kugelhaufenreaktor vom Schulten-Typ, dessen Brennstoff auch Thorium enthalten kann. Soweit bekannt ist, sind Indien und China die einzigen Länder, die ein staatliches Entwicklungsprogramm für Thoriumreaktoren betreiben.

Entwicklungsprojekte

Die Abstinenz der anderen Länder hat zu einem interessanten Phänomen geführt, das bisher in der Nuklearentwicklung unbekannt war: Start-up-Firmen haben die Entwicklung einer Vielzahl von Konzepten aufgenommen. Hier ein paar Beispiele:

Martingale: Diese von den Brüdern Jack und Dave Devanney geführte Gruppe schlägt einen Flüssigsalzreaktor vor, der sich ausschliesslich bekannter und erprobter Techniken und Verfahren bedient. Sie nennen das Konzept ThorCon. Statt Materialien zu entwickeln, die 40 Jahre lang hohe Temperaturen und extreme Strahlenbelastung aushalten, werden die vollständigen Reaktormodule alle vier Jahre ausgetauscht. Die Devanneys haben Erfahrung im Bau grosser Schiffe und sie wollen Reaktoren so bauen, wie man Schiffe baut: schnell, einfach und günstig. Die Transporte erfolgen zwingend auf dem Wasserweg; das Konzept ist also für die Schweiz nicht anwendbar. →

² Hargraves R. and Moir R. W., «Liquid Fluoride Thorium Reactors – An old idea in nuclear power gets reexamined», in: American Scientist, Volume 98/Number 4, pages 304–313, July/August 2010

Warum Thorium?

Der Thorium-Uran-Zyklus hat gegenüber dem Uran-Plutonium-Zyklus verschiedene Vorteile. Zum Ersten ist Thorium häufiger als Uran. Allerdings ist dieser Vorteil nur bedingt relevant: Zwar ist die Häufigkeit in der Erdkruste tatsächlich etwa vier Mal so gross, aber die nachgewiesenen und vermuteten Vorkommen in abbaubaren Minen sind nicht viel grösser.

Der wichtigste Vorteil bezieht sich auf die Reststoffe: Aus U-238 entsteht durch einen einzigen Neutroneneinfang Pu-239 und daraus eine ganze Reihe weiterer Transurane mit Halbwertszeiten im Bereich von einigen Tausend Jahren (Pu-239: 24'111 Jahre). Diese machen die Endlagerung aufwendig und eignen sich vorzüglich als Angstmacher. Anders Thorium: Um aus Th-232 Pu-239 zu machen, müssen sieben aufeinanderfolgende Neutronen eingefangen werden. Eine Ereigniskette, die sehr unwahrscheinlich ist. Darum entstehen ausser den unvermeidlichen Spaltprodukten praktisch keine Abfälle.

Zum Thema Proliferation (Weiterverbreitung von waffenfähigen Materialien) gibt es zwei gegensätzliche Meinungen:

Die einen halten den Thoriumreaktor für besonders proliferationsresistent, weil bei der Neutronenbestrahlung von U-233 durch einen (n,2n)-Prozess auch Spuren von U-232 entstehen, das in einer langen Zerfallskette zu Thallium-208 zerfällt, ein starker Gamma-Strahler. Diese Strahlung verunmöglicht eine einfache Handhabung des Flüssigsalzes zum Zweck der U-233-Gewinnung. Andererseits ist es theoretisch möglich, das durch Neutroneneinfang entstehende Protactinium Pa-233 chemisch abzutrennen und zu reinem U-233 – ein ideales Bombenmaterial – zerfallen zu lassen.

Terrestrial Energy: Der Kanadier David Le Blanc hat einen Flüssigsalzreaktor entwickelt, der so einfach wie möglich konzipiert ist. Der Integral Molten Salt Reactor (IMSR) enthält eine einzige Salzmischung ohne brütende Hülle. Im Gegensatz zum Liquid Fluoride Thorium Reactor (LFTR), wo die Spaltprodukte kontinuierlich aus dem Flüssigsalz abgetrennt werden, bleiben sie in Le Blancs Reaktor während der ganzen Lebensdauer in der Salzschnmelze. Damit entsteht ein potenzielles Risiko mit hoher Nachzerfallswärme.



Rohstoff für die Energiegewinnung: Thorium kommt auf der Erde in verschiedenen chemischen Verbindungen vor und ist noch häufiger als Uran. Im Bild das Mineral Thorianit (ThO₂).

Foto: Thomas Schüpbach / NMBE

Institut für Festkörper-Kernphysik: Dieses Institut in Berlin ist privat finanziert und hat mit einem Dual-Fluid-Reaktor Aufsehen erregt. Er erreichte in einem Wettbewerb für «Grüne Technologie» – politisch völlig unkorrekt – den ersten Platz und wurde daraufhin durch die Organisatoren vom Wettbewerb ausgeschlossen. Fachleute geben dem Konzept allerdings wenig Chance und es ist nicht bekannt, dass eine Finanzierung für eine experimentelle Entwicklung zu Stande gekommen wäre.

Steenkampskraal Thorium Ltd. (STL): Südafrika versuchte, den deutschen Kugelhaufenreaktor (Schulten-Reaktor), ähnlich dem High Temperature Modular Reactor (HTMR) in China, zur Produktionsreife zu entwickeln. Der Versuch musste 2010 aus finanziellen Gründen abgebrochen werden. Ein Privatmann, Trevor Blench, führt das Projekt in modifizierter Form weiter. Seine STL besitzt die Rechte an den grossen Thorium- und Seltene-Erden-Lagerstätten in Südafrika.

Eine Sonderstellung hat das Projekt **Samofar** (Safety Assessment of the Molten Salt Fast Reactor). Es ist eine Zusammenarbeit von elf Forschungsgruppen (darunter das Paul Scherrer Institut) und interessierten Firmen in Europa. Eine Grundfinanzierung erfolgt durch die EU. Die Arbeiten koordiniert die Universität Delft in den Niederlanden. Das Ziel von Samofar ist es, die beson-

deren Sicherheitsaspekte des Flüssigsalzreaktors zu überprüfen und ihre Tauglichkeit nachzuweisen. Dazu gehören:

- Überprüfung der Funktion des Schmelzpfropfens zum Transfer des Brennstoffsalzes in eine unterkritische Konfiguration
- Messung der sicherheitsrelevanten Daten des Salzes
- Untersuchung neuer Beschichtungen der Strukturmaterialien wie Nickel-Legierungen
- Modellierung der Dynamik der natürlichen Zirkulation intern geheizter Flüssigsalze
- Überprüfung der chemischen Prozesse zur Extraktion von Lanthaniden und Aktiniden aus dem Brennstoffsalz

Die Arbeiten wurden im August 2015 aufgenommen.

Erwähnung verdient das **Forschungsinstitut in Řež** bei Prag wo Forschungsarbeiten mit reinem ${}^7\text{LiF}$ durchgeführt werden.

Dies ist bloss eine Auswahl von Projekten, die sich mit Thorium als Grundlage für neuartige Kernreaktoren beschäftigen. Sie haben alle eines gemeinsam: Die Finanzierung harzt. Das ist verständlich. Risikokapitalgeber sind sich gewohnt, in überblickbaren Stufen vorzugehen. Im Fall einer Reaktorentwicklung wird es aber schnell teuer und schwer kalkulierbar. Erste Machbarkeitsstudien lassen sich durchaus mit wenigen Millionen durchführen, aber bereits Experimente mit einzelnen Komponenten kosten bald zweistellige Millionenbeträge. Richtig teuer wird es beim Bau von Prototypen – und es wird unabsehbar teuer wegen der Lizenzierung durch die Behörden. Deren Vorgehen, Zeitplan und Auflagen sind nicht vorhersehbar.

Blick auf die Neutronenbilanz

Reine Thoriumreaktoren können als Konverter oder als Brüter betrieben werden. Als Brüter sind sie allerdings nicht sehr effizient. Das hat verschiedene Gründe. Einer davon ist die kleine Neutronenausbeute: Beim Spalten von U-233 entstehen im Mittel knapp 2,5 Neutronen, verglichen mit 2,88 bei Pu-239. Dazu kommt das erwähnte Problem mit Pa-233, das Neutronen absorbiert. Das führt zu einer Bruterate von knapp über 1, das heisst, es wird sehr wenig mehr U-233 produziert als für den Eigenbedarf benötigt wird. Man wird somit zum Anfahren eines Thoriumreaktors immer spaltbares Material

Der Liquid Fluoride Thorium Reactor (LFTR)

Der LFTR (ausgesprochen «lifter») ist ein zweiseitiger Flüssigsalzreaktor mit einem Core (Kern) und einem Blanket (Hülle). Der Brennstoff U-233 ist als Urantetrafluorid (UF_4) in einer Schmelze von Lithiumfluorid (LiF) und Berylliumdifluorid (BeF_2) gelöst («FLiBe»). Die Kritikalität wird durch Erhöhung der Konzentration des UF_4 erreicht. Der Temperaturkoeffizient der Reaktivität ist so stark negativ, dass eine Steuerung an sich nicht nötig wäre. Das Flüssigsalz ist gleichzeitig Brennstoff, Moderator und Kühlmittel. Es überträgt die Wärme bei hoher Temperatur (700°C) an einen sekundären Salzkreislauf und dieser an einen Dampferzeuger. Der Primärkreislauf durchläuft eine chemische Stufe, in der laufend die neu entstandenen Spaltprodukte getrennt nach Gasen, Fluoriden und Edelmetallen abgetrennt werden.

In der Hülle ist an Stelle von UF_4 Thoriumtetrafluorid (ThF_4) im Salz gelöst. Die Neutronen aus dem Core verwandeln das Thorium in Pa-233. Dieses zerfällt mit einer Halbwertszeit von 27 Tagen zu U-233. Dieses bleibt als UF_4 im Salz gelöst. Um es als Brennstoff für den Core zu gewinnen, durchläuft das Hüllensalz ebenfalls eine chemische Stufe, in der Fluorgas in die Schmelze eingeleitet wird. Dabei wandelt sich das UF_4 zu Uranhexafluorid (UF_6) um. Dieses ist gasförmig und entweicht. Anschliessend wird das UF_6 mit Wasserstoff zu UF_4 zurückverwandelt und als Brennstoff dem Core zugeführt.

So weit so praktisch! Es gibt aber einige Probleme:

- Die Halbwertszeit des Pa-233 von fast einem Monat führt, zusammen mit einem relativ grossen Neutronen-Einfangsquerschnitt, zu einer Verschlechterung der Neutronenbilanz. Eine Möglichkeit, diesem Problem zu begegnen ist, die Hülle so gross zu machen, dass das Protactinium genügend verdünnt wird.
- In einer (n,2n)-Reaktion kann U-232 entstehen, das über eine Kaskade zerfällt, die Thallium-208 enthält. Dieses Isotop zerfällt unter Emission einer energiereichen Gammastrahlung.
- Lithium kommt in zwei Isotopen vor: Li-6 und Li-7. Li-6 ist ein Neutronenabsorber und muss aus dem Fluoridsalz eliminiert werden. Zurzeit ist reines Li-7 knapp und teuer.

aus anderen Quellen benötigen, zum Beispiel Plutonium aus LWR oder Schnellen Brütern. Der ideale Kraftwerkspark der Zukunft dürfte deshalb LWR, Brüter und Thoriumkonverter umfassen. Zusätzlich ist es möglich, Uranbrennstoff mit Thorium zu versetzen, weil Thorium mit thermischen Neutronen effizient in Brennstoff umgewandelt werden kann. (Simon Aegerter)

Ich danke Jiří Křepel (PSI) und Andreas Norlin (TheEC) für aufschlussreiche Gespräche.

Weiterführende Literatur:

Robert Hargraves: «Thorium – energy cheaper than Coal», 2012. In Deutsch 2014 unter dem Titel «Thorium – billiger als Kohle-Strom» erschienen.

Produktion medizinischer Isotope?

Rund 80% aller radiodiagnostischen Verfahren in der Medizin benötigen das Isotop Technetium-99-m (Tc-99-m). Dieses entsteht beim Zerfall von Molybdän-99 (Mo-99), das seinerseits ein Spaltprodukt ist und somit beim Betrieb aller Kernreaktoren anfällt.

Fast alles Mo-99 (auch liebevoll «Moly» genannt) stammt aus Forschungsreaktoren gewissermassen nebenbei. Es ist anspruchsvoll, das «Moly» zeitgerecht aus den abgebrannten Brennstäben abzutrennen. Seine Halbwertszeit beträgt bloss zwei Tage und 18 Stunden. Viele der Forschungsreaktoren, die «Moly» produzieren, sind Jahrzehnte alt und erreichen bald das Ende ihrer Lebensdauer; es droht ein weltweiter Engpass.

Kann der Flüssigsalzreaktor in die Lücke springen? Durchaus denkbar – dank eines genialen Tricks: Ein Teil der Spaltprodukte sind gasförmig: Iod, Xenon, Krypton. In festen Brennstoffen sind sie äusserst störend, weil sie die Uranoxid-Pellets von innen her mechanisch schädigen. Im Flüssigsalz dagegen lassen sie sich durch Spülen mit Helium leicht entfernen. Überraschenderweise hat man festgestellt, dass die Blasen nicht nur Gase enthalten, sondern auch Aerosole aus Molybdän und einigen anderen Metallen! Ein kleiner Flüssigsalzreaktor könnte somit als kommerziell interessanter «Moly»-Produzent dienen, falls Knappheit die Preise steigen lässt.

Mit Kernkraft an den Rand unseres Sonnensystems und darüber hinaus

Die Raumsonde New Horizons sorgte unlängst mit ihren Nahaufnahmen des Zwergplaneten Pluto für Schlagzeilen. Bei der Mission spielt Nukleartechnologie eine wichtige Rolle. Seit rund 50 Jahren sorgen sogenannte Nuklearbatterien für Energie und Wärme auf Satelliten und Sonden.

Mitte Juli 2015 erreichte die Raumsonde New Horizons den Pluto und schickte die ersten Nahaufnahmen sowie weitere Daten des Zwergplaneten zurück auf die Erde. Diese «bemerkenswerte Leistung» wäre ohne Unterstützung des Department of Energy (DOE) der USA nicht möglich gewesen, wie dieses in einer Mitteilung festhält. Die Sonde hat nämlich einen sogenannten Radioisotope Thermoelectric Generator (RTG) an Bord, der Instrumente und Übermittlungsgeräte mit Elektrizität versorgt. Die Brennstoff-Pellets für den RTG entwickelten und testeten Wissenschaftler des DOE. Hergestellt wurden die Nuklearbatterien in den Los Alamos, Oak Ridge und Idaho National Laboratories, die alle zum DOE gehören. Das Plutonium für die Brennstoff-Pellets stammt ebenfalls aus einer DOE-Einrichtung in Savannah River.

RTG nutzen die Zerfallswärme von Plutonium-238 und wandeln diese mit thermoelektrischen Elementen direkt in elektrischen Strom um, im Falle der New Horizons mit einer anfänglichen elektrischen Leistung von gut 200 Watt. Aufgrund des radioaktiven Zerfalls – Pu-238 hat eine Halbwertszeit von 87,7 Jahren – und der Alterung der thermoelektrischen Elemente nimmt die Leistung mit der Zeit ab. Das Pu-238 wird in keramischer Form eingesetzt. Dieser Werkstoff ist hitzeresistent und in Wasser nur schwer löslich. Bei einem starken Aufprall zerbricht die Keramik hauptsächlich in grössere Bruchstücke, was die Gefahr des Einatmens von pulverförmigem radioaktivem Material erheblich reduziert. Die Plutonium-Pellets sind zudem mehrfach und mit verschiedenen korrosions- und hitzebeständigen Materialien umschlossen. Das nicht waffenfähige Pu-238 ist ein fast reiner Alpha-Strahler, der in fast stabiles Uran-234 zerfällt, und kann somit einfach abgeschirmt werden.

Die Geschichte der Kernenergie im Weltall

Neben Solarzellen ist der Einsatz von RTG heutzutage die einzige Technologie, die bei mehrjährigen Weltallmissionen zur Energieversorgung genutzt wird. Chemische Batterien und Brennstoffzellen würden nicht lange genug halten. In den weiter entfernten Regionen

des Sonnensystems ist die Sonneneinstrahlung zu schwach für Solarenergie-Panels, weshalb schon bei vielen erfolgreichen Missionen Radioisotopensysteme zum Einsatz gekommen sind.

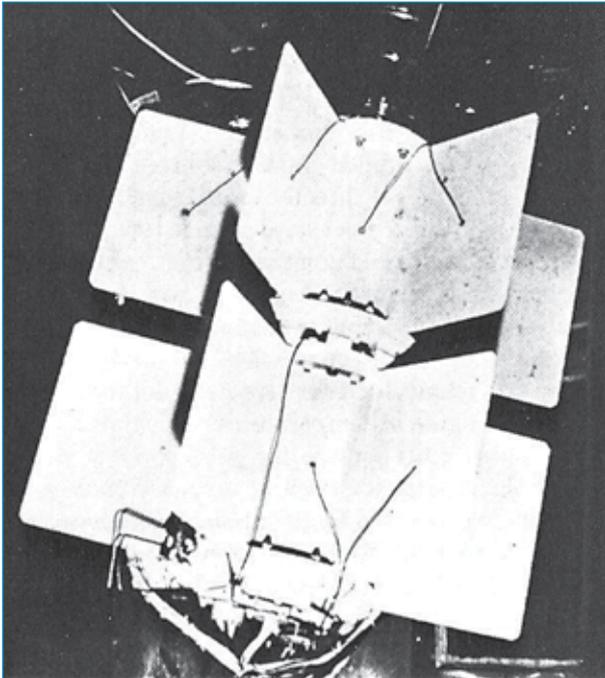
1961 war nicht nur das Jahr der ersten bemannten Raumflüge. Ausser Yuri Gagarin und Alan Shepard gelangte damals auch der erste Nuklearantrieb ins All. Der Navigationssatellit Transit 4A der US-Marine startete am 29. Juni 1961 mit einem RTG des Typs SNAP-3 mit ganzen 2,5 W elektrischer Leistung an Bord. Diesen RTG hatte eine private Firma hergestellt. Sämtliche danach produzierten nuklearen Energieversorgungssysteme für Nasa-Missionen stammten vom DOE.

Mit Nimbus III gelang der Nasa im April 1969 die erste Mission mit nuklearer Energieversorgung. Der Wettersatellit nahm zum ersten Mal Messungen des Luftdrucks, der solaren UV-Strahlung, des Meereises und



Der Zwergplanet Pluto in einer Aufnahme der New Horizons.

Foto: Nasa



Nuklearbatterien des Wettersatelliten Nimbus III.

Foto: Nasa

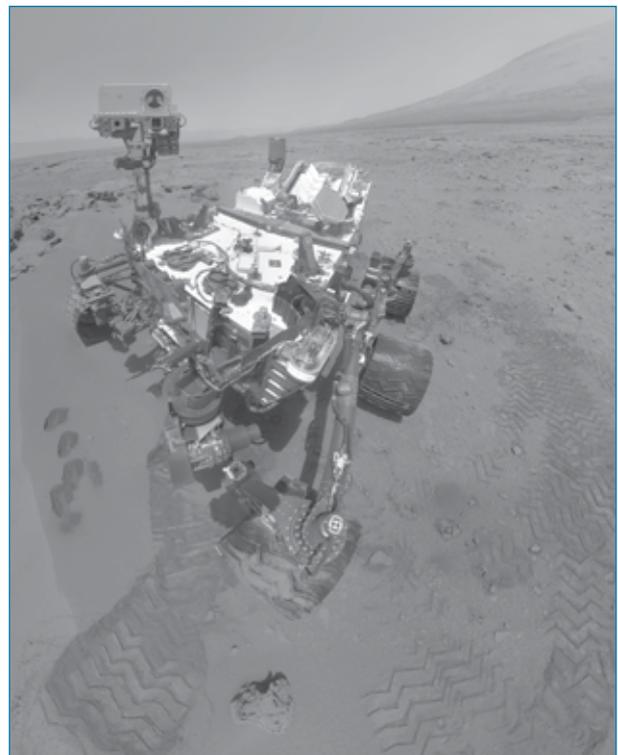
der Ozonschicht vor. Zwei Monate nach dem Start von Nimbus III gelangten die ersten Nuklearbatterien auf den Mond. An Bord von Apollo 11, der ersten bemannten Mondlandemission, befanden sich Geräte mit Radioisotope Heater Units (RHU), die nach dem gleichen Prinzip funktionieren wie die RTG, aber nur zur Wärmeproduktion genutzt werden. Solche Heizungen sind nötig, um die meist hoch empfindlichen Instrumente trotz der extremen Kälte im Weltall auf Betriebstemperatur zu halten. Bei den nachfolgenden Missionen Apollo 12–17 wurden bis im Dezember 1972 die verschiedenen Elemente des Apollo Lunar Surface Experiment Package (ALSEP) auf den Erdtrabanten gebracht, alle mit RTG zur Energieversorgung.

Pioniere im wahrsten Sinne des Wortes

Im März 1972 verliess die Sonde Pioneer 10 die Erde. Ausgestattet mit vier RTG und zwölf RHU war dies das erste Raumfahrzeug, das über den Mars hinaus flog, Fotos vom Jupiter lieferte, den Asteroidengürtel durchquerte und schliesslich als erstes menschgemachtes Objekt überhaupt unser Sonnensystem verliess. Die Energieversorgung von Pioneer 10 war auf fünf Jahre Betrieb ausgerichtet. Letztendlich funktionierte sie mindestens 30 Jahre lang, bis die Verbindung zur Sonde abbrach. Pioneer 11 folgte mit der identischen Energie- und Wärmeverorgung im April 1973. Sie lieferte weitere Erkenntnisse über den Jupiter, erste Nahauf-

nahmen des Saturns sowie seiner Ringe und entdeckte zwei neue Monde des zweitgrössten Planeten im Sonnensystem. Die Kommunikation mit Pioneer 11 endete nach 22 Jahren, während die RTG zu diesem Zeitpunkt noch Energie lieferten. Auch Pioneer 11 ist auf dem Weg über die Grenzen unseres Sonnensystems hinaus. Wie ihre Schwestersonde trägt sie eine Plakette mit einer Botschaft für den Fall, dass ausserirdische Lebensformen die Raumfahrzeuge entdecken sollten.

Bei der ersten Landung auf dem Mars war Nukleartechnologie ebenfalls dabei. Die Sonden Viking 1 und 2 landeten im Juli und September 1976 an verschiedenen Orten auf dem Roten Planeten. Auf beiden versorgten je zwei RTG die Instrumente mit Strom. Mit Viking 1 beanspruchte die Nasa die erste erfolgreiche Mars-Mission für sich. Eine russische Sonde im Jahr 1971 blieb zwar nach dem Aufsetzen ein paar Sekunden lang intakt, übertrug jedoch keine Daten. Viking 1 erforschte die Marsoberfläche bis zur geplanten Abschaltung nach sechs Jahren. Viking 2 sandte vier Jahre lang Daten zurück zur Erde, bis der Kontakt zu ihrem Orbiter und damit zur Relaisstation abbrach. Das Viking-Programm lieferte unter anderem den Nachweis für ausgetrocknete Flussbette auf dem Mars. →



Marsrover Curiosity: Der RTG befindet sich in dem weissen Zylinder am hinteren Teil des Fahrzeuges.

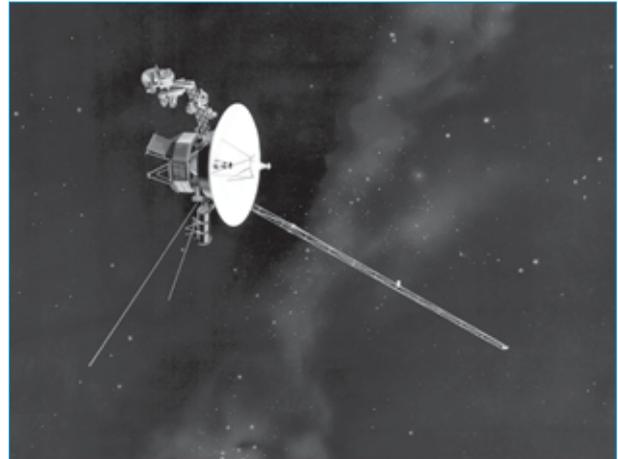
Foto: Nasa

Auch für weitere Mars-Missionen lieferten und liefern Nuklearbatterien Wärme und Strom. Sojourner, der erste Marsrover, trat seine Reise im Dezember 1996 an und hatte drei RHU an Bord. Er sollte ursprünglich während sieben Tagen funktionieren, lief aber schlussendlich fast drei Monate lang. Seine Nachfolger Spirit und Opportunity verliessen die Erde im Sommer 2003 und erreichten den Mars im Januar 2004. Beide werden von acht RHU beheizt. Spirit blieb nach sechs Jahren im Sand stecken, während Opportunity nach wie vor unterwegs ist und Daten liefert. Im August 2012 erhielt er Gesellschaft vom bisher grössten und letzten Rover Curiosity. Dessen Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator (MMRTG) erzeugte zu Beginn der Mission rund 120 W elektrische Energie und 2000 W Heizwärme. Die Ingenieure rechnen beim MMRTG mit einer nutzbaren Lebensdauer von mindestens 14 Jahren.

Reisende in neuen Dimensionen

Das Voyager-Programm gilt als grösster Erfolg der Nasa und der Raumfahrt allgemein. Die zwei Sonden verliessen die Erde im August und September 1977, wobei Voyager 2 zuerst startete, später aber von Voyager 1 überholt wurde. Für die Energie sorgen auf beiden Raumfahrzeugen je drei sogenannte Multi-Hundred-Watt (MHW) RTG, wovon jedes zu Beginn der Mission über eine elektrische Leistung von 158 W verfügte. Für die Wärmeerzeugung haben die Sonden je neun RHU an Bord. Fast 40 Jahre nach dem Start verfügen die Sonden noch immer über je rund 300 W elektrische Leistung. Mit Abnahme der Leistung schalten die Operateure nach und nach einzelne Geräte ab, um den Verbrauch an die noch verfügbare Batteriekapazität anzupassen.

Voyager 1 erkundete Jupiter und Saturn und begab sich anschliessend auf ihre Reise an den Rand des Sonnensystems. Ungefähr im August 2012 trat die Sonde als erstes von der Erde gestartetes Raumfahrzeug in den interstellaren Raum ein. Sie ist heute mit rund 20 Mrd. km das am weitesten von der Sonne entfernte, von Menschen erzeugte Objekt und liefert nach wie vor Daten. Voyager 2 folgt ihrer Schwestersonde mit etwa 4 Mrd. km Abstand. Sie ist das erste und bisher einzige Raumfahrzeug, das alle vier Grossplaneten – Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun – von Nahem erkundet hat. Auch Voyager 2 ist auf dem Weg an die Grenzen unseres Sonnensystems und sendet weiterhin Daten zurück auf die Erde. Zu den unzähligen Entdeckungen der beiden Sonden gehören Ringe um den Jupiter, Vulkane auf dem Jupitermond Io, neue Monde beim Uranus und Neptun sowie Geysire aus flüssigem Stickstoff auf dem Neptunmond Triton. Ähnlich wie die Pioneer-Sonden



Künstlerische Darstellung der Voyager-Sonde.

Foto: Nasa

führen Voyager 1 und 2 Datenplatten mit Bild- und Audio-Informationen für allfällige Zusammentreffen mit Ausserirdischen mit.

Galileo, Ulysses und Cassini

1989 schickte die Nasa die Sonde Galileo los, mit der ihr die erste Umrundung des Jupiters gelang. Dank zwei General-Purpose-Heat-Source (GPHS) RTG und 120 RHU lieferte Galileo acht Jahre lang Daten und Bilder des Jupiters und seiner Monde. Auch Ulysses bezog Strom aus einem GPHS-RTG. Gestartet im Jahr 1990 reiste Ulysses zum Jupiter, umkreiste die Sonne dreimal über ihre Pole und wurde schliesslich nach 21 Jahren abgeschaltet. Auf der Cassini-Sonde sorgen drei GPHS-RTG für Strom und 117 RHU für Wärme. Cassini ist seit 1997 unterwegs, hat ihre erste Saturn-Umrundung absolviert und erforscht weiterhin den Planeten mit seinen Ringen und Monden.

Auch bei der eingangs erwähnten New-Horizons-Mission ist ein GPHS-RTG im Einsatz. Die Sonde hat bei ihrem Pluto-Vorbeiflug ihr Hauptziel erreicht und zudem vier bisher unbekannte Monde entdeckt. New Horizons ist nun weiter unterwegs im Kuipergürtel, dem der Pluto zugehört. Es handelt sich dabei um eine ringförmige, relativ flache Ansammlung von schätzungsweise mehr als 70'000 Objekten mit mehr als 100 km Durchmesser sowie vielen kleineren Objekten. Auf der Erde arbeiten derweil die Wissenschaftler der Nasa, des DOE und weiterer Organisationen an der Weiterentwicklung der nuklearen Energieversorgung für Raumfahrzeuge. (M. Re. nach DOE und Nasa, verschiedene Mitteilungen)

Die Entwicklung russischer Druckwasserreaktoren

Anfang August 2015 standen weltweit 56 Druckwasserreaktorblöcke des russischen Typs WWER (wassermoderierter und wassergekühlter Energie-Reaktor) in Betrieb. Das ist rund ein Achtel aller weltweit laufenden Kernkraftwerkseinheiten. Seit die erste WWER-Einheit Mitte der 1960er-Jahre ans Netz ging, wurde die Baureihe stetig weiterentwickelt, leistungsstärkere Reaktoren kamen auf den Markt und der Sicherheitsstandard stieg markant. Die jüngste Version – der WWER-1200 (AES-2006) – soll 2016 im russischen Nowoworonesch erstmals den Betrieb aufnehmen. Und bereits sind neuere Versionen in Entwicklung.

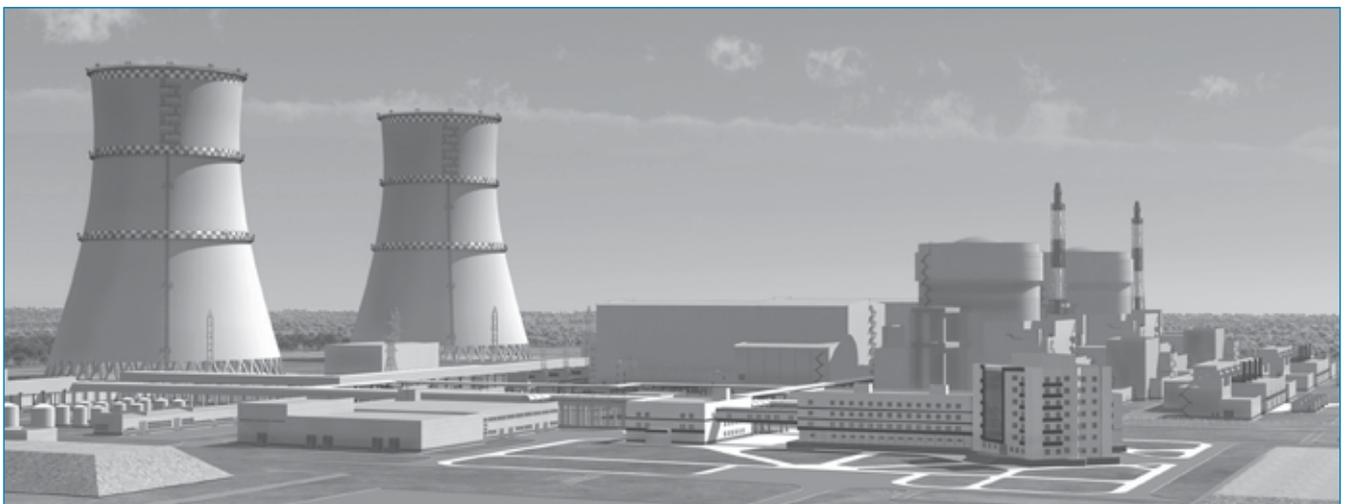
Die erste WWER-Einheit begann im September 1964 am Standort Nowoworonesch, 500 km südlich von Moskau, mit der Stromproduktion. Die elektrische Bruttoleistung betrug 210 MW. Der zweite WWER wurde 1966 in der damaligen DDR am Standort Rheinsberg in Betrieb genommen. 1969 kam die mit 365 MW etwas leistungsstärkere zweite WWER-Einheit Nowoworonesch-2 hinzu. Diese WWER-Blöcke der sogenannten ersten Generation erhielten Bezeichnungen, die ihrer Bruttoleistung entsprachen. Nowoworonesch-1 und Rheinsberg waren somit vom Typ V-210 und Nowoworonesch-2 vom Typ V-365.

Die WWER-440-Serie

Bau und Betrieb der Erstgeneration-Anlagen diente den Ingenieuren als Grundlage für die Entwicklung leistungsstärkerer Reaktoren. Der darauffolgende WWER-440 war der erste auf Serienproduktion ausgelegte russische Druckwasserreaktor. Zwischen 1972 und 2000 wurden insgesamt 35 Einheiten dieser Baureihe in Mitteleuropa, Armenien, Finnland, Russland und der Ukraine in Betrieb genommen, von denen heute noch 23 elektrische Energie produzieren. Die ersten zwei vom Typ WWER-440/V-179 gingen 1971 und 1972 in Nowoworonesch ans Netz. Zwischen 1973 und 1982

Artistische Darstellung der zwei AES-2006-Blöcke von Leningrad-II, die noch vor 2020 den Betrieb aufnehmen sollen.

Foto: Rosatom



WWER-Reaktortypen im Überblick

Gen I WWER	Gen II WWER-440	Gen II / Gen III WWER-1000	Gen III+ WWER-1200
V-210 Russland: Nowoworonesch-1 (stillgelegt)	V-179 Russland: Nowoworonesch-3 und -4 V-230 Russland: Kola-1 und -2 stillgelegt: ehem. DDR: Greifswald-1 bis -4 Bulgarien: Kosloduj-1 bis -4 Slowakei: Bohunice-1 und -2 V-213 Russland: Kola-3 und -4 Ukraine: Rowno-1 und -2 Ungarn: Paks-1 bis -4 Tschechien: Dukovany-1 bis -4 Finnland: Loviisa-1 und -2 Slowakei: Bohunice-3 und -4, Mochovce-1 und -2, Mochovce-3 und -4 (in Bau) V-270 Armenien: Armenia-1 (stillgelegt) Armenia-2	V-187 Russland: Nowoworonesch-5 V-302 Ukraine: Süd-Ukraine-1 V-338 Ukraine: Süd-Ukraine-2 Russland: Kalinin-1 und -2 V-320 Russland: Balakowo-1 bis -4, Kalinin-3 und -4, Rostow-1 bis -3, Rostow-4 (in Bau) Ukraine: Rowno-3 und -4, Saporoschje-1 bis -6, Chmelniczki-1 und -2, Süd-Ukraine-3 Bulgarien: Kosloduj-5 und -6 Tschechien: Temelin-1 und -2 V-428 China: Tianwan-1 und -2 Tianwan-3 und -4 (in Bau) V-412 Indien: Kudankulam-1 Kudankulam-2 (in Bau) V-466 Iran: Bushehr-1	V-392M Russland: Nowoworonesch-II-1 und -2 (in Bau) V-491 Russland: Baltisk-1 (in Bau), Leningrad-II-1 und -2 (in Bau) Weissrussland: Belarus-1 und -2 (in Bau)

Quelle: Rosatom

© 2015 Nuklearforum Schweiz

nahmen in Bulgarien, der damaligen DDR, Russland und der Slowakei insgesamt zwölf WWER-400/V-230 den Betrieb auf. Von 1977 bis 1999 kamen weitere 19 Einheiten des verbesserten Typs WWER-400/V-213 in Finnland, Russland, der Slowakei, der Tschechischen Republik, der Ukraine und Ungarn dazu. Von den zwei in Armenien 1976 und 1980 in Betrieb genommenen WWER-400/V-270 steht heute der jüngere noch in Betrieb.

Die Auslegungsarbeiten für die beiden WWER-Einheiten im finnischen Loviisa wurden um 1971 abgeschlossen. Die Entwickler berücksichtigten dabei von der damaligen amerikanischen Atomic Energy Commission (AEC) verlangte Auslegungsmerkmale für Kernkraft-

werke der zweiten Generation wie ein Vollcontainment. Alle darauffolgenden WWER-Einheiten wurden dementsprechend ausgelegt.

WWER-1000: ...

Bei den Blöcken der WWER-1000-Reihe wurde nicht nur die Stromproduktionskapazität gesteigert. Die russischen Ingenieure rüsteten die Anlagen auch mit einer Reihe neuer Sicherheitsvorkehrungen aus. Die Demonstrationseinheit Nowoworonesch-5 gab 1980 zum ersten Mal Strom ans Netz ab. Danach wurde eine Vorserie mit je zwei Einheiten an den Standorten Süd-Ukraine und Kalinin gebaut, die zwischen 1983 und 1986 zu laufen begannen. Der erste Block der Standardserie mit der Bezeichnung V-320 wurde im ukrainischen

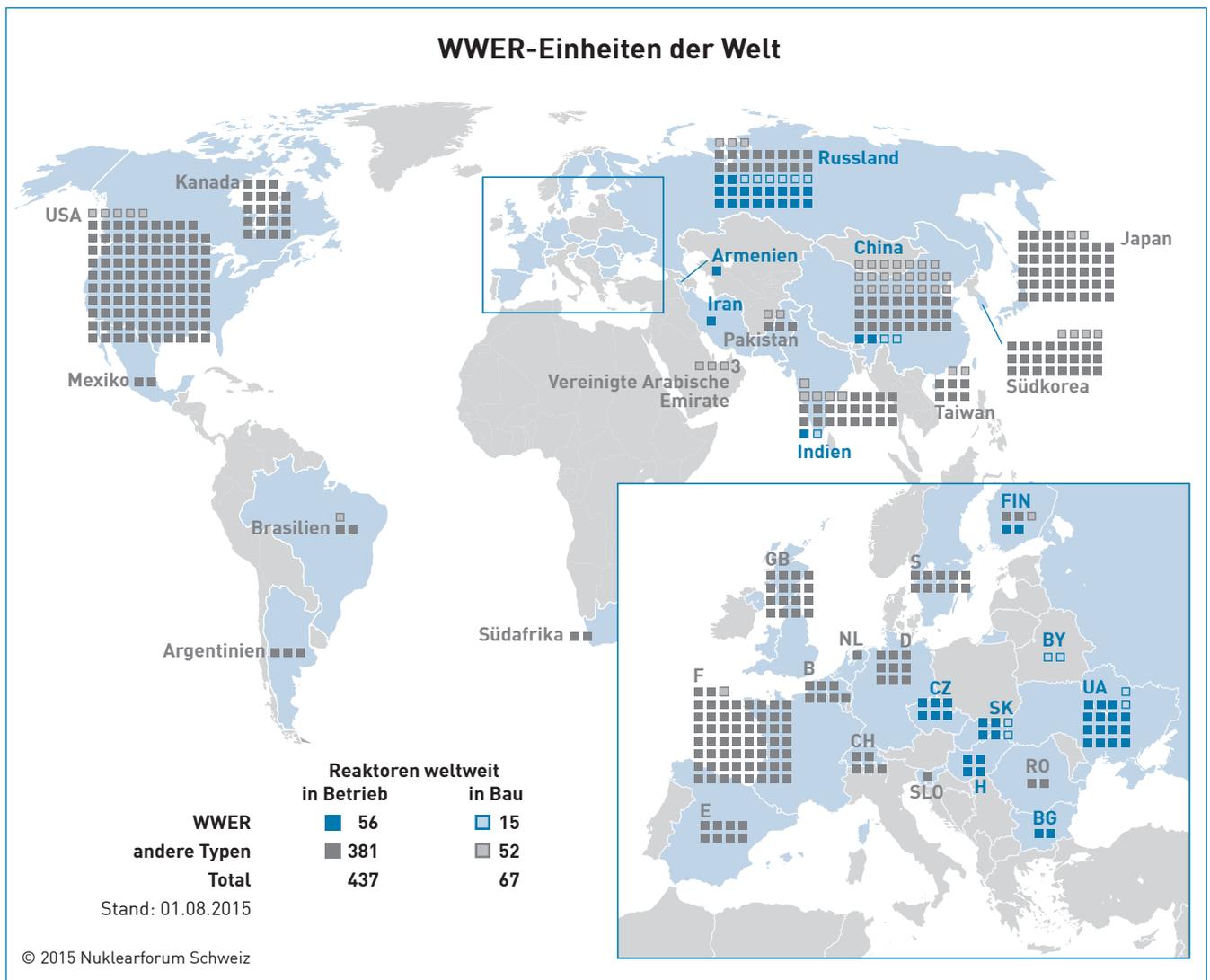
Saporoschje gebaut und ging 1984 ans Netz. Ende 2014 nahm die 24. Einheit dieses Typs – Rostow-3 – den Betrieb auf. Derzeit befindet sich noch eine Einheit dieses Standardtyps am Standort Rostow in Bau. Sie soll 2017 die Stromproduktion aufnehmen.

... zwei Versionen, erste Core Catcher

Auf diesen Erfahrungsschatz aufbauend entwickelten zwei Tochtergesellschaften des russischen Staatskonzerns Rosatom je eine neue WWER-1000-Version: die St. Petersburg Atomenergoprojekt den AES-91 (oder WWER-1000/V-428) und die Moskau Atomenergoprojekt den AES-92 (oder WWER-1000/V-412 und -466). Neben betriebswirtschaftlichen Verbesserungen wurden auch auslegungsüberschreitende Ereignisse über eine Kombination aktiver und passiver Sicherheitssysteme

bei der Auslegung berücksichtigt. Gemäss der Rosatom sind die beiden AES-91-Blöcke am chinesischen Standort Tianwan ihre ersten mit einem Core Catcher ausgerüsteten Kernkraftwerkseinheiten. Sie stehen seit 2006 und 2007 in Betrieb.

2002 begannen im indischen Kudankulam die Bauarbeiten für die ersten zwei AES-92-Blöcke des Typs V-412. Kudankulam-1 wurde 2013 mit dem Netz synchronisiert und 2014 in den kommerziellen Betrieb überführt. Die zweite Einheit soll noch dieses Jahr kritisch gefahren werden. Im Dezember 2009 bestätigten Europas führende Energieversorgungsunternehmen, dass die AES-92-Auslegung den Kriterienkatalog der European Utility Requirements (EUR) erfüllt. Diese Bescheinigung wurde auch der Westing-



house für ihren AP1000 und der Areva für den EPR erteilt. Zwei AES-92-Einheiten waren für den bulgarischen Standort Belene geplant. Das Projekt wurde jedoch gestoppt. Gebaut und 2011 in Betrieb genommen wurde hingegen Irans erste Kernkraftwerkseinheit Bushehr-1 als AES-92 des Typs V-466. Der AES-91 wie auch der AES-92 wird ausschliesslich ausserhalb Russlands gebaut.

Bereits in Bau: WWER-1200 – AES-2006

Der AES-2006 ist die modernste WWER-Auslegung. Sie erfüllt laut Rosatom alle internationalen Sicherheitsanforderungen von Reaktoren der sogenannten Generation III+. Die Entwicklungsarbeiten wurden nach der Jahrtausendwende aufgenommen. Ein Hauptziel war die Kostenreduktion, ohne grosse Änderungen im nuklearen Dampferzeugersystem vorzunehmen, aber gleichzeitig die Sicherheit zu erhöhen. Die thermische Leistung wurde auf 3200 MW gesteigert und weitere passive Sicherheitssysteme wurden integriert. Gestützt auf ihre WWER-1000-Versionen haben die St. Petersburg Atomenergoprojekt und die Moskau Atomenergoprojekt auch hier eigene AES-2006-Versionen entwickelt. Derzeit werden insgesamt fünf Einheiten der Version V-491 der St. Petersburg Atomenergoprojekt in Russland und Weissrussland gebaut. Eine weitere Einheit befindet sich in der Planungsphase für den Standort Hanhikivi in Finnland. Der erste von zwei Blöcken des Typs V-392M der Moskau Atomenergoprojekt soll 2016 in Nowoworonesch den Betrieb aufnehmen. Der zweite soll 2019 folgen. Insgesamt vier Einheiten dieses Typs sind auch für den türkischen Standort Akkuyu in Planung.

In Entwicklung: MIR-1200, WWER-TOI ...

Das russisch-tschechische Konsortium aus der JSC Atomstroieexport, der Škoda JS a.s. und der JSC OKB Gidropress hat für den geplanten Ausbau am tschechi-

schen Standort Temelín den Reaktortyp MIR-1200 (Modernised International Reactor) vorgeschlagen. Er beruht auf der AES-2006-Reihe. Gemäss der Rosatom erfüllt der MIR-1200 die tschechischen Bieteranforderungen, die grundsätzlich auf den EUR-Vorgaben aufgebaut sind und in einigen Belangen gar strengere Vorschriften beinhalten.

Eine weitere neue Auslegung ist der sogenannte WWER-TOI (typical, optimized, with enhanced information). Das Ziel ist, ein standardisiertes Kernkraftwerk zu entwickeln, das sowohl in technischer wie auch in wirtschaftlicher Hinsicht optimiert ist. Darüber hinaus sollen Anlageninformationen und -daten über moderne Informationstechnologien verlustfrei ausgetauscht werden können. Den WWER-TOI entwickelt die Moskau Atomenergoprojekt. Er baut auf dem AES-2006/V-392M auf. Der Reaktortyp trägt die Bezeichnung V-510. Gut zwei Dutzend Einheiten dieses Typs befinden sich in Russland in der Planungsphase.

... und andere

Der WWER-1200A (V-501) soll statt über vier nur noch über zwei Hauptkühlmittelstränge verfügen. Obwohl entsprechend leistungsstärkere Komponenten eingesetzt werden müssen, sollen damit Kosten für Produktion, Bau und Betrieb eingespart werden. Ebenfalls in der Entwicklungspipeline steht der viersträngige WWER-640 (V-407), der sich mit seinen 640 MW elektrischer Leistung sowohl für die Grundlastversorgung wie auch für den Lastfolgebetrieb eignen soll. Mit dem WWER-600 (V-498) wollen die Ingenieure prinzipiell eine kleinere Version des WWER-1200 entwickeln und dabei auf bestehende Komponenten zurückgreifen. (M.B. nach Rosatom «The VVER today», undatierte Ausgabe, und Präsentation von Nikolai Fil der OKB Gidropress «Status and perspectives of VVER nuclear power plants», vom Juli 2011, sowie IAE0-PRIS)

Tschernobyl – 29 Jahre danach

Im Frühling 2016 jährt sich der bekannteste Reaktorunfall der Welt zum dreissigsten Mal: Die Katastrophe von Tschernobyl, die noch heute weltweit einen grossen Einfluss auf die Energiepolitik verschiedener Länder hat. Zurzeit wird vor Ort intensiv an einer neuen Schutzhülle für den verunglückten Reaktor gebaut. Grund genug, sich die Situation vor Ort anzusehen – ein Reisebericht.

Tschernobyl liegt etwa 130 km nördlich von Kiew. Entsprechend liess sich ein Besuch des Kernkraftwerks ideal mit einer Besichtigung der ukrainischen Hauptstadt verbinden. Die Stadt hat nicht wie erwartet einen sowjetischen Plattenbau-Charme, sondern präsentiert sich mit vielen Parks und südländisch anmutenden Altstadtteilen ziemlich europäisch. Die Gedenkstätten für die Toten der Maidan-Protteste 2014 und für die Gefallenen im darauffolgenden Krieg in der Ostukraine rufen den Besuchern allerdings in Erinnerung, dass die Ukraine vor grossen politischen Herausforderungen steht.

Besuche von Tschernobyl erfreuen sich seit Jahren steigender Beliebtheit. Waren es bei der Öffnung der Zone primär Journalisten, welche diesem historischen Ort ihre Reverenz erwiesen, folgte mit den Jahren eine steigende Anzahl sonstiger interessierter Besucher. Gemäss unserem Reiseführer Nikolai ist das Interesse für eine Besichtigung bei vielen Besuchern auf Video-Spiele, die Tschernobyl und Prypiat als Kulissen haben, zurückzuführen. Letztes Jahr brachen die Besichtigungen während den Maidan-Kundgebungen in Kiew und dem Absturz des Flugs MH17 der Malaysia Airlines in der Ostukraine jedoch komplett ein. Mittlerweile hat sich die Situation wieder normalisiert. Für nächstes Jahr, in dem sich der Unfall zum dreissigsten Mal jährt, wird ein Besucherrekord erwartet. Der Tourismus nach Tschernobyl wird laut Nikolai allerdings eher geduldet als gefördert, die dadurch generierten Einnahmen sind im Vergleich zu den Unterhaltskosten der Zone gering.

Das Kernkraftwerk wird durch zwei Sperrzonen umgeben: Eine innere 10-km-Sperrzone und eine 30-km-Sperrzone. Sämtliche zwölf Strassenzufahrten in die Zonen sind durch Checkpoints gesichert. In der 30-km-Sperrzone lagen früher 96 Siedlungen und zwei Städte. An einigen dieser Siedlungen fährt man unwissentlich vorbei, denn inzwischen ist alles von Bäumen und Sträuchern umgeben und nur bei genauem Hinsehen

erkennt man mitten im Dickicht die halbzerfallenen Gebäude. Sogenannte Hotspots, an denen eine höhere Radioaktivität gemessen werden kann, sind mit Warnschildern gekennzeichnet.

Nach dem Reaktorunfall wurden rund 130'000 Personen evakuiert und es fand eine umfassende Dekontaminierung statt, wobei rund 3 Mio. m³ Material abgetragen und in spezielle Deponien verfrachtet wurden. In der 30-km-Sperrzone darf man sich bis zu zwei Wochen am Stück aufhalten. So ist heute auch rund ein Viertel der Stadt Tschernobyl bewohnt, primär durch Arbeiter, die für Unterhaltsarbeiten zuständig sind.



Hotspot in einem vom Wald «zurückerobernten» Dorf.

Foto: Beat Bechtold



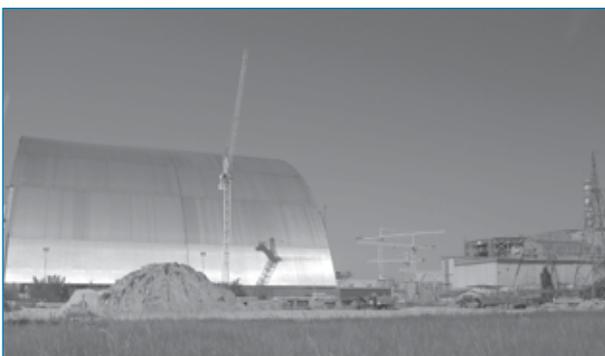
Reaktorblock 5 (links) sowie einer der beiden halbfertigen Kühltürme.

Foto: Beat Bechtold

Auch Touristen, die mehrtägige Touren gebucht haben, können dort übernachten. Zudem siedelten nach der Dekontaminierung rund 1200 Personen, zumeist ältere Leute, wieder in diese erweiterte Sperrzone zurück. Regional bekannt ist eine 87-jährige Frau, die in die Sperrzone rücksiedelte und sich bis heute vollständig selbst versorgt.

In der 10-km-Sperrzone sind dagegen keine Aufenthalte über Nacht erlaubt und es herrscht ein absolutes Siedlungsverbot. Nachdem wir den entsprechenden Checkpoint passiert hatten, war es nicht mehr weit bis zu den Reaktoranlagen. Schon von Weitem sieht man das futuristisch anmutende New Safe Confinement, die neue Schutzhülle für den Block 4 von Tschernobyl. Zuerst passierten wir die Blöcke 5 und 6 mit den halbfertigen Kühltürmen, deren Bau nach dem Unfall noch eine Weile weitergetrieben, kurze Zeit später dann aber unterbrochen wurde und die heute samt Kränen vor sich hinrosten.

Unmittelbar neben dem havarierten Block 4 sind die Arbeiten an der neuen 30'000 t schweren Schutzhülle weit vorangeschritten. Sobald das New Safe Confinement fertiggestellt ist, wird es auf Schienen über den



New Safe Confinement (links) und Sarkophag von Block 4 (rechts).

Foto: Beat Bechtold

bestehenden Sarkophag des Blocks 4 geschoben. 48 Länder tragen zu seiner Finanzierung bei, die über die Europäische Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (EBWE) beziehungsweise den Chernobyl Shelter Fund verwaltet wird.

Im Anschluss fuhren wir weiter zur Besichtigung der Stadt Prypiat. Im Gegensatz zu Tschernobyl ist diese Stadt weniger bekannt, war aber mit knapp 50'000 Bewohnern deutlich grösser als Tschernobyl mit ihren rund 13'000 Einwohnern. Prypiat wurde erst ab 1970 in unmittelbarer Nähe der Kernkraftwerke gebaut und war als sowjetische Musterstadt für die Familien der Mitarbeitenden konzipiert. Nachdem die Stadt innert kürzester Zeit evakuiert werden musste, fiel sie einem langsamen Zerfall anheim. Nicht nur die Natur erobert sich ihren Raum wieder zurück, auch Vandalen schädeten der Stadt in den letzten Jahrzehnten. Die Touristen spielen ebenfalls nicht immer eine ruhmreiche



Wohnblock in Prypiat.

Foto: Beat Bechtold

Rolle, kommt es doch nicht selten vor, dass sie zurückgelassene Gegenstände neu arrangieren, um besonders eindruckliche Bilder mit nach Hause bringen zu können. Durch den fortschreitenden Verfall wird ein Besuch der Gebäude zunehmend gefährlicher. Unser Führer Nikolai meinte, sobald es einen ersten Unfall mit einem ausländischen Besucher gäbe, würden die Behörden vermutlich jeglichen Tourismus unterbinden. Was schade wäre, denn ein Besuch von Prypiat ist äusserst eindrucklich: Die Ruhe und Verlassenheit aber auch die Kraft der Natur, die sich alles zurückholt, wirken auch Tage nach dem Besuch bei uns noch nach. →



Radaranlage Duga-1.

Foto: Beat Bechtold

Neben dem Kraftwerksgelände und Prypiat bietet die Sperrzone von Tschernobyl noch einen weiteren interessanten Ort: Eine gewaltige, rund 150 m hohe und 750 m lange Radaranlage namens Duga-1, mit der das Sowjetregime Interkontinentalraketen bis zu einer Entfernung von 15'000 km erkennen konnte. Nach dem

Reaktorunfall musste die Radaranlage ausser Betrieb genommen werden und rostet heute als eindruckliches Relikt des Kalten Krieges vor sich hin. Übrigens ist der Standort dieser Anlage auf allen Landkarten als Sommercamp für Jugendliche eingezeichnet. Da macht man sich Gedanken über die Launen der Geschichte, wonach ein Ort vor nicht allzu langer Zeit eine hochgeheime militärische Anlage war und heute für Touristen frei zugänglich ist. Gemäss Nikolai bestehen Pläne, die Stahlkonstruktion zurückzubauen.

Nach einem eindrucklichen und sehr interessanten Tag verliessen wir am Abend die Sperrzone, wobei wir uns beim Verlassen beider Zonen jeweils auf Radioaktivität messen lassen mussten. Grosse Gebiete wurden umfassend dekontaminiert und unser Geigerzähler zeigte zumeist absolut unbedenkliche Werte. Nur wenn man sich den markierten Hotspots näherte, wurden erhöhte Werte von bis zu 20 $\mu\text{Sv/h}$ (entspricht rund 175 mSv/y) registriert. So absorbierten die Berichterstatter während der privat organisierten Reise, die anfangs August 2015 stattfand, mehr Radioaktivität beim zweieinhalbstündigen Hin- und Rückflug in die Ukraine als beim eintägigen Besuch der sogenannten Exclusion Zone von Tschernobyl. (Matthias Dornbierer und Beat Bechtold)

Fotovergleich August 1990 – August 2015

Eingangsbereich des Werks.

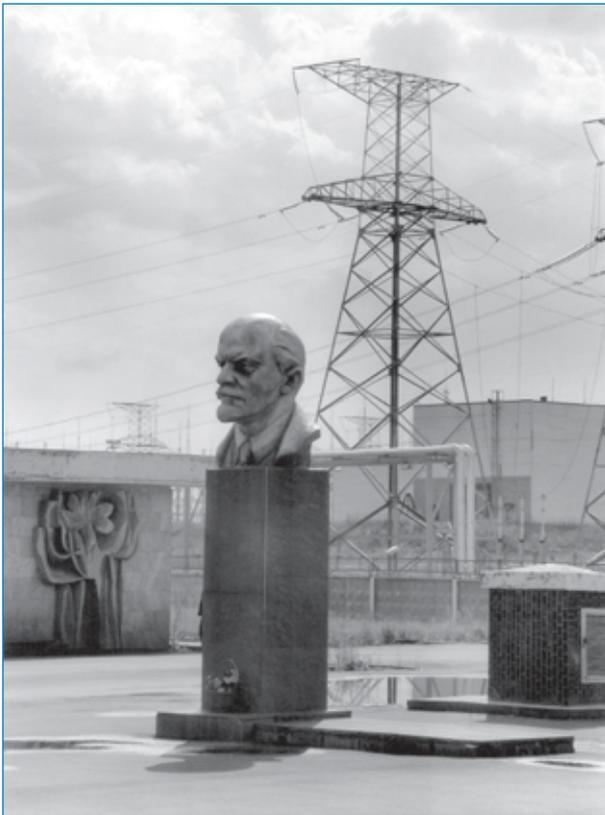


Foto: Michael Schorer



Foto: Beat Bechtold

Der alte Sarkophag des Blocks 4.



Foto: Michael Schorer



Foto: Beat Bechtold

Das Zentrum von Prypiat.

Foto: Michael Schorer



Foto: Beat Bechtold

Der Vergnügungspark in Prypiat.

Foto: Michael Schorer



Foto: Beat Bechtold

Wieder «Atomstrom» in Japan

In Japan haben zwei ganz unterschiedliche Arten der Rückkehr für Schlagzeilen gesorgt. In der Schweiz davon kaum beachtet wurde die Aufhebung von Teilen der Evakuationszone um Fukushima-Daiichi. Zur Rückkehr des Landes zur Kernenergie dagegen las man in Schweizer Medien umso mehr – aus ganz unterschiedlichen Blickwinkeln.

Die Ankündigung der japanischen Regierung, bis März 2017 die Evakuierungsverfügungen für die geräumten Gebiete um das Kernkraftwerk (KKW) Fukushima-Daiichi aufzuheben, hat in der Schweizer Medienwelt kaum Beachtung gefunden. Dass die Geschichte nicht ganz untergegangen ist, verdanken wir Greenpeace. Die Umweltorganisation hat nämlich aus diesem Anlass einen ihrer weltweiten Aufrufe lanciert, weil es für sie eine «inakzeptable Gefährdung» darstellt, die Bewohnerinnen und Bewohner der Region zurückkehren zu lassen. Diese seien «in die Strahlung verdammt», denn «die japanische Regierung hat bei der Dekontaminierung im Umkreis der Reaktorkatastrophe von Fukushima versagt». Das schliesst Greenpeace aus eigenen Radioaktivitätsmessungen vor Ort, die teilweise Werte ergäben, «die einer jährlichen Dosis von mehr als zehn Millisievert entsprechen». Das sei das Zehnfache des international zulässigen Grenzwerts, so Greenpeace weiter.

Klarstellung vom Bundesamt für Strahlenschutz

Im Beitrag zu diesem Thema auf der Website vom «Blick» wurden die Anschuldigungen der Umweltaktivisten nicht hinterfragt und keine Gegendarstellungen wiedergegeben. Ähnlich klang es auf dem deutschen Portal «Spiegel Online» – vorerst zumindest. Denn hinterher wurde dem Artikel folgende «Anmerkung der Redaktion» hinzugefügt: «Beim Umgang mit radioaktiven Stoffen ist gesetzlich eine maximale jährliche Dosis von einem Millisievert erlaubt. Hinzu kommt die natürliche Radioaktivität, die je nach Wohnort schwankt und in Deutschland im Mittel bei 2,1 Millisievert pro Jahr liegt. Der in der Region litate gemessene Wert von 10 Millisievert wird laut Bundesamt für Strahlenschutz punktuell auch in Deutschland erreicht.»

Einen ausführlicheren und differenzierten Bericht zum «Dilemma der Evakuierten von Fukushima» lieferte am 23. Juli 2015 «Le Courrier de Genève». Die dort erzählte

Geschichte eines Restaurantbesitzers aus der Gemeinde Naraha, die bereits Anfang September 2014 freigegeben wurde, bringt andere, praktische Aspekte zur Rückkehr in die evakuierten Gebiete ans Licht. Zwar sei die Zugverbindung wiederhergestellt, ein kleiner Supermarkt und auch eine Bank wiedereröffnet, doch es fehlten weitere Infrastrukturen und Läden. Die beschädigten Häuser seien noch nicht repariert. In den Augen des Wirtes werden höchstens 20% der ursprünglichen Bevölkerung bald zurückkehren. Im «Courrier de Genève» kam auch ein «Experte» von Greenpeace zu Wort, der die Dekontaminationsarbeiten kritisierte und vor der Rückkehr warnte – aber immerhin «die Entscheidungen der Bevölkerung akzeptieren» wollte.

«Besorgte Bürger – erfreute Wirtschaft»

Mit dem obigen Zitat aus der «Neuen Zürcher Zeitung» (NZZ) vom 11. August 2015 lässt sich die Berichterstattung der Schweizer Medien über die erste Wiederinbetriebnahme eines japanischen KKW seit Herbst 2013 ziemlich akkurat zusammenfassen. Die einzelnen Artikel unterschieden sich vor allem im Fokus auf einen dieser beiden Aspekte. Die «NZZ» erwähnte zwar die Meinungsumfrage einer grossen japanischen Zeitung, wonach sich fast 60% der Befragten gegen die Wiederinbetriebnahme von Kernkraftwerken aussprachen. Weit mehr Gewicht erhielten aber die wirtschaftlichen Folgen der vorübergehenden Stilllegung aller japanischer KKW. «Landesweit hat sich mit dem Ausfall der Kernkraft der Strom für Haushalte um rund 20% und jener für Unternehmen um 30% verteuert», so die «NZZ». Und der Import fossiler Energierohstoffe habe das Land fast CHF 30 Mrd. im Jahr gekostet. Auch die japanischen Energieversorgungsunternehmen seien in Schwierigkeiten geraten. Alleine die Betreiberin des KKW Sendai habe von der staatlichen Entwicklungsbank umgerechnet gut CHF 780 Mio. erhalten. Aber «dank dem Atomstrom kann die lokale Wirtschaft auch darauf hoffen, dass die Energiepreise nicht noch weiter steigen».



«Wie einst der Walfang»

Ganz anderer Meinung als derjenigen der «NZZ» ist der Korrespondent des «Tagesanzeigers». In seinen Augen zahlt der japanische Premierminister für die Rückkehr zur Kernenergienutzung «einen hohen politischen Preis und verbaut seinem Land die Energiezukunft». Besonders störend erscheint ihm die Vernachlässigung der erneuerbaren Energien im geplanten Energiemix Japans: «Erneuerbare Energien (ohne Wasserkraft) machen nur 14 Prozent aus.» Der Vergleich mit den heutigen Zahlen zeigt jedoch, dass dieser Anteil ein ziemlich ehrgeiziges Ziel ist. Trotzdem meint der Journalist, die erneuerbaren Energien würden «auf der Strecke bleiben» und schrieb weiter für seine Leser: «Langfristig schadet die Fixierung auf die Atomkraft Japan. Sie beraubt die Wirtschaft der Chance, mit Staatszuschüssen eine Energieversorgung der Zukunft zu entwickeln, die sie exportieren könnte.» Dann verglich der Korrespondent die Kernenergie mit dem Walfang, denn «die Atomkraft ist eine Technik von gestern. Nicht nur, weil ihre Sicherheit im von Erdbeben, Vulkanen und Taifunen gebeutelten Japan nicht garantiert werden kann, wenn das überhaupt irgendwo möglich ist». Dementsprechend auch das Fazit im «Tagesanzeiger»: «Die meisten Japaner sind gegen die Atomkraft. Gleichwohl ist Abe gewillt, den hohen politischen Preis zu zahlen, ohne dass er damit Japan hilft. Im Gegenteil: Er verbaut seinem Hightechland den Sprung an die Spitze der Energiezukunft.»

«Ein gewagtes Experiment»

Die Berichterstattung anderer Zeitungen basierte auf Agenturmeldungen und glich sich dementsprechend. Die «Freiburger Nachrichten» gehörte zu denen, die ihren Beitrag mit technischen Aspekten begannen: «Um 10.30 Uhr Ortszeit werden die Steuerstäbe im Atomkraftwerk Sendai ausgefahren, und die Kernspaltung beginnt.» Wie bei der «Aargauer Zeitung» (AZ) und ihren Tochter-Blättern folgte darauf der Hinweis, dass das Hochfahren eines KKW nach längerer Pause nicht ganz einfach sei. Dazu die «Freiburger Nachrichten»: «Ein gewagtes Experiment, warnen Atomexperten im In- und Ausland. Denn in der Mehrheit der Reaktoren hat bereits seit gut vier Jahren keine Kernspaltung mehr stattgefunden. Auch die nach dem Fukushima-Unfall neu gegründete Atomsicherheitsbehörde mahnt den Betreiber Kyushu Electric zur Vorsicht. Das Unternehmen versucht zu beruhigen. Der Reaktor werde nicht sofort auf Höchstleistung gebracht, sondern über einen Monat hinweg Stück für Stück hochgefahren.» Die «AZ» verwies auf «Daten der Internationalen Atomenergiebehörde IAEA», wonach «in der Vergangenheit

alle 14 Reaktoren, die länger als vier Jahre abgeschaltet waren, wegen technischer Probleme per Notabschaltung vom Netz genommen werden» mussten. Japan sei zudem «das erste Land, das solche Neustarts en masse plant». Im Weiteren betonten die beiden erwähnten wie auch weitere Blätter, «Japans heikle Rückkehr zur Atomkraft» (Überschrift der «AZ») geschehe auf Drängen des Premierministers und gegen den Willen der Bevölkerung.

Eine 22-Meter-Mauer gegen Tsunamis

Der Blick in die welsche Medienlandschaft zeigte vorerst ein ähnliches Bild. Auch die Online-Ausgabe von «24 heures» bezeichnete den Neustart als «Sieg für die Regierung von Shinzo Abe, welche die Kernenergie ins Zentrum ihrer Energiepolitik stellt». Dann folgte jedoch der Hinweis, dass Japan ohne seine KKW auf massive Importe von Kohle, Gas und Öl angewiesen ist. Das Resultat sei «eine höhere Stromrechnung und eine Handelsbilanz mit roten Zahlen». Anschliessend bildete «24 heures» eine erfreuliche Ausnahme und ging konkret auf die Massnahmen ein, welche die japanische Nuklearindustrie seit 2011 getroffen habe. Diese habe «mehrere Milliarden ausgegeben, um ihre Anlagen vor Erdbeben, Tsunamis und Taifunen zu schützen». Beispielsweise sei im Pazifik vor dem Werk Hamaoka eine 22 Meter hohe und 1,6 km lange «Anti-Tsunami-Mauer» gebaut worden. Die Betreiberfirmen müssten zudem als Konsequenz von Fukushima die Anzahl und Verlässlichkeit ihrer Notstromgeneratoren steigern. Sogar der Präsident der japanischen Nuklearsicherheitsbehörde kam in der grössten französischsprachigen Zeitung der Schweiz zu Wort: Dank der neuen Richtlinien würde «ein Unfall beherrscht, bevor er annähernd die Ausmasse der Geschehnisse in Fukushima annehmen kann». Abschliessend verwies auch «24 heures» auf Umfragen und Demonstrationen. Das Greenpeace-Zitat am Schluss des Artikels soll an dieser Stelle nicht kommentiert werden: «Es ist nicht nötig, das KKW Sendai wieder hochzufahren. Während fast zwei Jahren hat Japan ohne Kernenergie genug Strom produziert.»

Energiewende möglich, aber zu hohem Preis

Der Artikel zum Thema in «Le Temps» machte deutlich, woher der von Greenpeace erwähnte Strom kam. Zu Beginn leistete sich der Verfasser indes einen argen Patzer indem er behauptete, was viele in Europa aufgrund der einseitigen Berichterstattung zu wissen glauben, nämlich die «Katastrophe von Fukushima» habe «rund 3000 Tote und 300'000 Evakuierte» zur Folge gehabt. Weiter unten im Text listete er dann die

Konsequenzen des vorübergehenden Atomaussteigs auf. Der Wegfall der KKW sei mit Stromsparmassnahmen und dem «intensiven Zurückgreifen auf Gas- und Ölkraftwerke» kompensiert worden. In Betrieb stehende Anlagen seien voll ausgelastet und «aus verschiedenen Gründen stillgelegte Werke ausnahmsweise in Betrieb genommen» worden. So sei die «Energiewende» ohne Stromunterbrüche möglich gewesen. «Aber», so der Artikel weiter, «sie kam Japan teuer zu stehen. Das Land musste grosse Mengen zusätzlichen Erdöls für die Stromproduktion importieren, was den Unternehmen substantielle Mehrkosten verursacht hat.» Zudem seien mehr Treibhausgase ausgestossen worden und das Erreichen der Kyoto-Klimaziele im Kampf gegen die Klimaerwärmung sei schwieriger geworden. «Auf lange Sicht drängt sich eine strategische Entscheidung auf», fand der «Le Temps»-Redaktor. Die japanischen Behörden könnten entweder «ihr Land vom Nuklearen befreien» und dazu für eine Übergangsphase allenfalls ein paar Reaktoren wieder hochfahren, oder weiterhin «auf das Atom setzen, mit den entsprechenden Risiken».

«Die einfache, unbequeme Wahrheit»

Den Schluss unserer Betrachtung ausgewählter Berichte zum Thema Kernenergie in Japan bildet der Kommentar der «RhoneZeitung» vom 13. August 2015. «Der japanische Entscheid mag in unseren Breiten-graden viel Erstaunen und auch Kopfschütteln aus-

lösen», stand da. «Die Internationale Atomenergie-Organisation erwartet aber weltweit eine bedeutende Zunahme der Kernenergienutzung.» Auch wenn im Beitrag nicht ganz alle Fakten korrekt sind – «Eines der Länder, das nach 2011 all seine AKWs stillgelegt hatte und konsequent auf die Energiewende setzt, ist Deutschland» –, so sind wir doch komplett einverstanden mit dem Verfasser des Kommentars. Zu Deutschland schrieb dieser nämlich: «Die Sonnen- und Windenergie wird in unserem nördlichen Nachbarland gegenwärtig mit 20 Milliarden Euro jährlich subventioniert. Von der dadurch bedingten subventionierten deutschen Stromschwemme sind unter anderem unsere Schweizer Wasserkraftwerke betroffen, die schlecht rentieren. Allen Schweizern, die trotzdem neugierig, neidisch gen Norden blicken, sei gesagt: Die deutsche Energiepolitik zum Beispiel nehmen? Ja, aber als ein schlechtes.» Und weiter: «Diese Fakten sollten sich auch Schweizer Politiker vor Augen führen, die nach dem «Fukushima-Schock» eine Energiewende proklamierten, ohne abzuschätzen, wohin genau dieses populistische Schönwetterprojekt führt.» Auch dem Fazit der Walliser Zeitung haben wir nichts anzufügen: «Die einfache, unbequeme Wahrheit lautet: Solar- und Windenergie sind noch nicht ausgereift, um die Atomenergie zu ersetzen. Deshalb kann auch die Schweiz aus wirtschaftlicher Vernunft in den nächsten 50 Jahren kaum auf Kernenergie verzichten.» (M.Re.)

Schweiz

Im Unterschied zum Nationalrat ist die Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Ständerates (**Urek-S**) im Rahmen ihrer Beratungen zur Energiestrategie 2050 zum Schluss gekommen, **weder eine Laufzeitbeschränkung noch ein Langzeitbetriebskonzept** für Kernkraftwerke ins Gesetz aufzunehmen. Neue Kernkraftwerke sollen in der Schweiz aber auch nicht mehr gebaut werden dürfen.

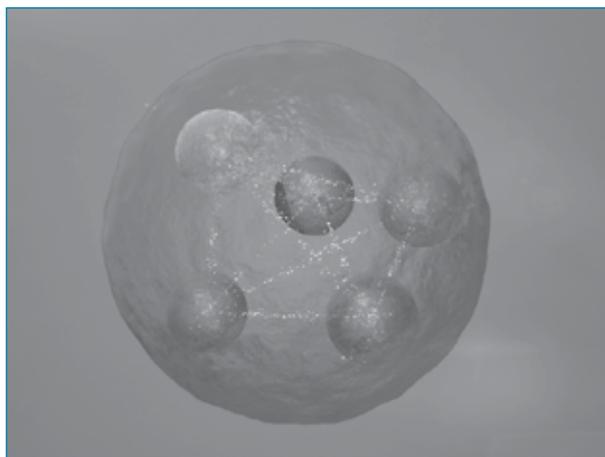
Der **Endenergieverbrauch** der Schweiz **sank 2014** gegenüber dem Vorjahr um 7,7% auf 825'770 Terajoule, den tiefsten Endenergieverbrauch der letzten 17 Jahre. Das Bundesamt für Energie führt den Rückgang in erster Linie auf die ausgesprochen warme Witterung zurück.

Die Zwischenlager Würenlingen AG (**Zwilag**) verarbeitete zwischen dem 7. April und dem 26. Juni 2015 im Plasmaofen insgesamt **631 Fässer** mit schwachaktivem Abfall aus den fünf Schweizer Kernkraftwerken. Der Schmelzvorgang konnte das Abfallvolumen auf einen Fünftel reduzieren.

Der **Reaktordruckbehälterdeckel** der Kernkraftwerkeinheit **Beznau-1** wurde erfolgreich **ausgetauscht**. Der Deckel von Beznau-2 wird ebenfalls präventiv ersetzt.

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (**Ensi**) setzte eine **neue Richtlinie** zur Sicherheitsbewertung von Kernanlagen in Kraft. Die Richtlinie beschreibt die Anforderungen an die laufende Bewertung des Betriebs von Kernanlagen.

Forscher des LHCb-Experiments am Europäischen Kernforschungszentrum **Cern** bei Genf beobachteten eine **Elementarteilchenkonstellation** bestehend auf fünf Quarks.



Das neu entdeckte Pentaquark-Teilchen besteht aus fünf Quarks. Die Illustration zeigt eine Möglichkeit, wie diese zusammengepackt sein könnten.

Foto: Cern/LHCb Collaboration

Am 11. und 12. Juni 2015 führte die Nationale Alarmzentrale (**NAZ**) des Bundesamts für Bevölkerungsschutz (Babs) ihre alljährlichen **Radioaktivitätsmessflüge** durch. Dieses Jahr überflog der Messhelikopter turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Mühleberg und Gösgen. Dabei wurden wie in den Jahren zuvor **normale Werte** festgestellt. →

International

Die **Assemblée nationale** – das Unterhaus des französischen Parlaments – **billigte** am 22. Juli 2015 in abschliessender Lesung den Gesetzesvorschlag der Regierung zur «**Energiewende für ein grünes Wachstum**». Demnach wird der Atomstromanteil bis 2025 auf 50% verringert.



Nach der Annahme des Gesetzesvorschlags erklärte die federführende Umweltministerin, **Ségolène Royal**, ihr Land habe jetzt das «**fortschrittlichste Energiegesetz unter den Industrieländern**».

Foto: Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie

Die **tschechische Regierung** genehmigte den Nationalen Aktionsplan für Kernenergie. Der vom Ministerium für Industrie und Handel in Zusammenarbeit mit dem Finanzministerium ausgearbeitete Plan sieht vor, an den Standorten Dukovany und Temelín **neue Einheiten** zu bauen.

Die **Regierung Südkoreas** stellte einen neuen 15-Jahres-Plan zur Stromversorgung vor. Um die steigende Stromnachfrage zu decken, sollen **zwei zusätzliche Kernkraftwerkseinheiten** gebaut werden.

Russland und **Saudi-Arabien** unterzeichneten eine **Absichtserklärung** zur Zusammenarbeit bei der friedlichen Nutzung der Kernenergie. Russland schloss zudem weitere solche Absichtserklärungen mit Südafrika, Tunesien, Ghana und Myanmar ab.

Gemäss dem russischen Präsidenten, Wladimir Putin, zahlte **Russland** eine **erste Tranche von EUR 1 Mrd.** (CHF 1,08 Mrd.) für den Bau der Kernkraftwerkseinheit **Hanhikivi-1** aus.



Der finnische Präsident, **Sauli Niinistö**, und sein russischer Amtskollege, **Wladimir Putin**, äusserten sich an einer gemeinsamen Medienkonferenz zum Neubau der finnischen Kernkraftwerkseinheit **Hanhikivi-1**.

Foto: Büro des russischen Präsidenten

Auch **Kanada** und **Grossbritannien** unterzeichneten eine **Absichtserklärung** zur Verstärkung der Zusammenarbeit im Bereich der zivilen Nutzung der Kernenergie.

Die Europäische Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (**EBWE**) richtete einen **neuen Fonds** ein, um die Hinterlassenschaft von Uranabbau und -verarbeitung aus sowjetischer Zeit in Kirgistan, Tadschikistan und Usbekistan beseitigen zu helfen.

Das Staatsunternehmen SE Ignalina Nuclear Power Plant (**INPP**) reichte bei der litauischen Aufsichtsbehörde State Nuclear Power Safety Inspectorate (Vatesi) ein **Bau- und Inbetriebnahmegesuch** für ein **oberflächennahes Endlager** für und kurzlebige schwach- und mittelaktive Abfälle ein. →

Südkorea verbrachte die ersten schwach- und mittelaktiven Abfälle ins unterirdische Endlager in Gyeongju im Südosten Südkoreas in der Nähe des Kernkraftwerks Wolsong. Damit hat das **erste Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle Asiens** den Betrieb aufgenommen.



Das erste Tiefenlagers Asiens ist in Betrieb: Das erste Betongebinde mit 16 Fässern wird in eines der sechs Silos abgesenkt.

Foto: Korad

Villar de Cañas ist unter Auflagen ein **geeigneter Standort** für das geplante zentrale **Zwischenlager** für ausgediente Brennelemente und hochaktive Abfälle Spaniens. Diesen Schluss zog der Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

An Chinas Kernkraftwerksstandort **Hongyanhe** begann am 24. Juli 2015 offiziell der **Bau** der **sechsten Einheit**.



Arbeiter gießen den ersten Beton für die ACPR-1000-Einheit Hongyanhe-6 in der chinesischen Provinz Liaoning.

Foto: CGN

Die Kernkraftwerkseinheit **Fuqing-2** in der chinesischen Provinz Fujian gab laut China National Nuclear Corporation (CNNC) am 6. August 2015 **erstmals Strom** ans Netz ab.

Die japanische Kernkraftwerkseinheit **Sendai-1** wurde wie angekündigt am 14. August 2015 mit dem Netz **synchronisiert**. Sendai-1 ist die erste Einheit Japans, die nach dem Reaktorunfall von Fukushima-Daiichi vom 11. März 2011 die Stromproduktion wieder aufgenommen hat.

Die finnische **Fennovoima Oy** reichte beim Ministry of Employment and the Economy am 30. Juni 2015, am letzten Tag vor Ablauf der Abgabefrist, ihr **Baubewilligungsgesuch** für die Kernkraftwerkseinheit **Hanhikivi-1** ein.

In der ersten der beiden neuen AP1000-Einheiten am Standort **Virgil C. Summer** in Jenkinsville im amerikanischen Bundesstaat South Carolina wurde das **Modul CA-01** in den Reaktorsicherheitsbehälter platziert. Dieses Modul nimmt die Dampferzeuger und den Kanal zur Brennstoffbeladung auf.



Der Schwerlast-Drehkran senkt das CA-01-Modul in den Reaktorsicherheitsbehälter der AP1000-Einheit Virgil C. Summer-2 herab.

Foto: SCE&G

Die belgische Abgeordnetenversammlung stimmte einer **Verlängerung** der Betriebsbewilligung für die **Kernkraftwerkseinheiten Doel-1 und Doel-2** zu. Die beiden Werke sollen bis 2025 weiterlaufen dürfen. →

Beim Kernkraftwerk **Barakah** in den Vereinigten Arabischen Emiraten (VAE) wurde das **Reaktordruckgefäß** der **zweiten Einheit** an seinen Platz im Reaktorgebäude verbracht.

Mit dem Platzieren des **Moduls CA-04** – der Reaktorgrubeneinheit – des AP1000 **Vogtle-4** im amerikanischen Bundesstaat Georgia legte die Georgia Power Company eine weitere Bauetappe erfolgreich zurück. Dasselbe Modul wurde schon bei Virgil C. Summer-3 mit Erfolg gesetzt.

Der **Reaktordruckbehälter** für die **dritte Einheit** des Kernkraftwerks **Tianwan** in der chinesischen Provinz Jiangsu wurde laut China Nuclear Engineering Corporation (CNEC) erfolgreich an seinen Platz gesetzt.

Laut der chinesischen State Nuclear Power Technology Corporation (SNPTC) wurden beide **Dampferzeuger** der AP1000-Einheit **Sanmen-2** erfolgreich platziert.



Der zweite Dampferzeuger der AP1000-Einheit Sanmen-2 in China wird ins noch offene Reaktorgebäude gesetzt.

Foto: SNPTC

Die **Reaktorkuppel** der Kernkraftwerkseinheiten **Haiyang-2** und **Sanmen-2** in China wurden platziert. Somit sind die Hauptarbeiten an den Reaktorgebäuden der AP1000-Einheiten abgeschlossen.

Kroatien und Slowenien haben sich auf eine **Laufzeitverlängerung** des gemeinsam betriebenen Kernkraftwerks **Krško** um 20 Jahre geeinigt. Seit 2001 gehört Krško je zur Hälfte den beiden Ländern. Die produzierte Strommenge wird ebenfalls hälftig geteilt.

Nach der Analyse der Ergebnisse der alle zehn Jahre durchgeführten umfassenden Sicherheitsüberprüfung von **Tricastin-3** kam die französische Autorité de sûreté nucléaire (ASN) zum Schluss, dass die 915-MW-Druckwassereinheit **zehn weitere Jahre Strom** produzieren darf. Die Besitzerin und Betreiberin von Tricastin-3 – die Electricité de France (EDF) – muss jedoch bestimmte Auflagen erfüllen.

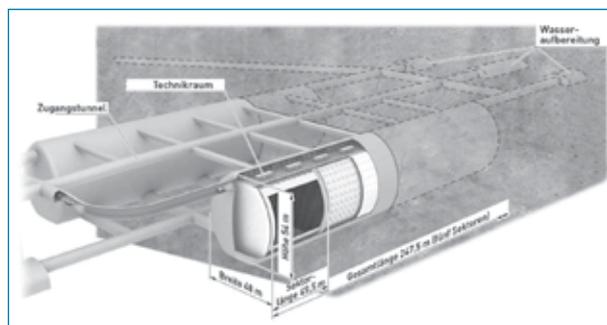
Die japanische Nuclear Regulation Authority (NRA) kam am 20. Mai 2015 in einem vorläufigen Bericht zum Schluss, dass die Kernkraftwerkseinheit **Ikata-3** die verschärften **regulatorischen Richtlinien erfüllt**. Der Bericht geht nun in die öffentliche Anhörung.

Die Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) **verlängerte** die **Betriebsbewilligungen** der Kernkraftwerke **Bruce A und B** um fünf Jahre.

Die deutsche E.On nahm das Kernkraftwerk **Grafenrheinfeld** am 27. Juni 2015 aufgrund eines politischen Entscheids von 2011 **endgültig vom Netz**. Die Einheit hatte vor 33 Jahren den Betrieb aufgenommen.

Die Ameren Corporation **zog** ihr Gesuch um eine **Bau- und Betriebsbewilligung** (Combined License, COL) für die geplante Kernkraftwerkseinheit **Callaway-2** im amerikanischen Bundesstaat Missouri **zurück**.

In **Japan** soll mit weltweiter Beteiligung ein **neuer Neutrino-detektor** gebaut werden. Die Wissenschaftler hoffen, damit Lücken in unserem Verständnis des Universums zu füllen. →



Schematischer Aufbau des geplanten Hyper-Kamiokande-Experiments in Japan.

Foto: Hyper Kamiokande Collaboration

Das amerikanische Department of Energy (**DOE**) sprach über **USD 60 Mio.** (CHF 59 Mio.) für **Kernenergieforschungsprojekte und Infrastrukturverbesserungsprogramme** zu. Das DOE will damit die Versorgungssicherheit stärken und den Ausstoss von Treibhausgasen reduzieren.

Die französische **Areva SA** eröffnete in Grossbritannien ein **neues Büro** in Westlakes in **West Cumbria**, um die bestehenden Stilllegungsarbeiten im nahe gelegenen Sellafield zu unterstützen und das neue Projekt Areva Convert zu entwickeln.

Auch die amerikanische **Westinghouse Electric Company LLC** eröffnete ein **neues Büro** in **West Cumbria** in Grossbritannien, um bestehende und künftige Kunden aus nächster Nähe unterstützen zu können. Sie schaffte aus dem gleichen Grund eine **Niederlassung** in **Abu Dhabi** in den Vereinigten Arabischen Emiraten (VAE).

Die China National Nuclear Corporation (**CNNC**) und die ägyptische Nuclear Power Plant Authority (**NPPA**) unterzeichneten Ende Mai 2015 eine **Absichtserklärung**, um die nukleare Zusammenarbeit zu verstärken.

Die indonesische National Nuclear Energy Agency (**Batan**) erteilte einem internationalen Konsortium den Auftrag, vorbereitende **Entwicklungsarbeiten** für den geplanten **Versuchsreaktor** des Landes durchzuführen. Es handelt sich um einen modularen Hochtemperaturreaktor mit Kugelbrennelementen. Die Leistung soll 10 MW betragen.

Der Europäische Gerichtshof (**EuGH**) – der oberste Gerichtshof der EU – kam zum Schluss, dass die **deutsche Kernbrennstoffsteuer** mit dem Unionsrecht **vereinbar** ist. Damit folgten die Richter des EuGH dem Gutachten ihres Generalanwalts vom Februar 2015. Das Urteil des Bundesverfassungsgerichts zur Verfassungsmässigkeit dieses Gesetzes steht noch aus.

Das österreichische Bundeskanzleramt reichte beim Europäischen Gerichtshof (**EuGH**) **Klage** gegen den Entscheidung der Europäischen Kommission ein, Fördermassnahmen der britischen Regierung für das geplante Kernkraftwerk **Hinkley Point C** zuzulassen. Das Parlament trägt die Klage mit.

Ein Bündnis aus Greenpeace Energy, dem deutschen Energieversorgungsunternehmen Filstal, der österreichischen Oekostrom AG sowie deutschen Stadtwerken reichte beim **EuGH** ebenfalls eine entsprechende **Klage** ein. (M.A.)

► *Ausführliche Berichterstattung zu den hier aufgeführten Nachrichten sowie weitere Meldungen zu aktuellen Themen der nationalen und internationalen Kernenergiebranche und -politik finden Sie unter www.ebulletin.ch.*

Kurt Lanz



Die Drei ??? und die Energievision 2050

Meine Kinder liebten die Geschichten der Drei ???. Die eifrigen Freunde lösen gemeinsam Rätsel und Geheimnisse aller Art. Auch die Energiestrategie 2050 des Bundesrates stellt uns vor Rätsel: Ausstieg aus der Kernenergie, Senkung des Energieverbrauchs und Ausbau der neuen erneuerbaren Energien. Die Ziele sollen mit einem kräftigen Schuss Subventionen, etwas Planwirtschaft und einer Prise guten Glaubens erreicht werden. Wie mit diesem Rezept eine zahlbare und konstante Versorgungssicherheit gewährleistet werden soll, bleibt ein grosses Fragezeichen. Obwohl die Schädlichkeit dieser Zutaten für die Wirtschaft längstens bekannt ist, findet das altbekannte Ammenmärchen immer wieder Zuhörer. Doch spannende

Erzählabende mit Kindern in Ehren, hier geht es um die Grundlage unseres Wohlstands. Mit der Stabilität des Wirtschaftsstandorts Schweiz darf nicht gespielt werden. Meine Kinder sollen eine Zukunft in der Schweiz haben. Deshalb besteht dringender Anpassungsbedarf dieses kostspieligen Experiments.

Es war einmal

Erneuerbare Energie aus Wasserkraft ist in der Schweiz seit vielen Jahrzehnten erfolgreich. Um 1960 erkannten die Schweizer Stromversorgungsunternehmen jedoch, dass Wasserkraft alleine nicht mehr ausreicht für eine sichere Energieversorgung. Zusätzlich wurde deshalb auf Kernenergie gesetzt, auch, weil damit die Abhängigkeit von Erdöl und klimaschädliche Emissionen reduziert werden konnten. Dies nicht zuletzt durch SP-Bundesrat Willy Spühler, einem der stärksten Befürworter der Kernenergie. Mit der Energiestrategie soll diese Entwicklung nun wieder rückgängig gemacht und durch erneuerbare Energien wie Solar- und Windstrom ersetzt werden. Die neuen erneuerbaren Energien werden seit sechs Jahren mit hunderten Millionen Franken über das Instrument der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) subventioniert. Trotzdem tragen sie auch heute erst 3,8% zu unserer Stromversorgung bei. Ein wesentlicher Grund dafür ist ihre starke Wetterabhängigkeit. In absehbarer Zeit stehen sie uns nicht als ausreichende und konstante Energie zur Verfügung. Genau darauf ist die Wirtschaft jedoch angewiesen, denn bereits ein Stromausfall von 15 Minuten verursacht in der Schweiz einen wirtschaftlichen Schaden von 250 Millionen Franken.

Lesen Sie die Packungsbeilage

In der Schweiz gehen aufgrund des starken Frankens jede Woche Arbeitsplätze verloren. Viele Unternehmen schreiben rote Zahlen oder müssen eng kalkulieren.

Zum Autor

Kurt Lanz ist Mitglied der Geschäftsleitung von *economiesuisse* und Leiter des Bereichs Infrastruktur, Energie & Umwelt. Er studierte Volkswirtschaft, Soziologie und Ökologie an der Universität Bern.

Seine Karriere startete Lanz bei Swisscom, wo er fast ein Jahrzehnt lang in verschiedenen Funktionen tätig war, zuletzt als Head of Public Policy and International auf Konzernstufe. Anschliessend engagierte er sich bei Sunrise Communications AG für wettbewerbsfreundliche Rahmenbedingungen in der Telekommunikation und baute danach den Bereich Public Affairs bei der SBB auf, wo er auch ein konzernweites, professionelles Stakeholder-Management etablierte. Bei der SBB war er zudem für sämtliche politischen Geschäfte zuständig bis er 2012 zu *economiesuisse* wechselte.

Wie so oft in wirtschaftlich frostigen Zeiten wird die Wirtschaft auch noch von einer Grippe geplagt. Sie heisst Subventionitis und löst Husten, Schnupfen oder bei strapaziertem Immunsystem gar hohes Fieber aus. In der Industriebranche ist die bittere Medizin meist Abbau von Arbeitsplätzen oder die Verlagerung von Produktionsstandorten ins Ausland. Mit günstigen, stabilen Rahmenbedingungen könnten wir uns gut auf wirtschaftliche Winterzeiten vorbereiten. Bei meinen Kindern Sorge ich ja auch dafür, dass sie bei Minustemperaturen mit Mütze und Handschuhen nach draussen gehen. Wird es bitterkalt, lege ich ihnen lieber noch einen Pullover mehr an. Dieses Prinzip sollte auch in der Wirtschaft gelten. Doch Unternehmen noch mit zusätzlichen Kosten zu belasten ist, als würde ich meine Kinder barfuss in den Schnee schicken. Genau das haben Bundesrat und Parlament im Moment vor. Sie wollen die Wirtschaft in schwierigen Zeiten mit noch höheren Kosten belasten. Kürzlich hat der Bundesrat die CO₂-Abgabe per 2016 um 40% erhöht. Mit der Energiestrategie sollen auch weitere Abgaben wie die KEV erhöht und – noch schlimmer – über Jahre weiter-

gezogen werden. Das hat ungesunde Marktverzerrungen zur Folge. Werden bei einer Krankheit Medikamente eingesetzt, ist die Dosierung entscheidend. Genauso verhält es sich bei der finanziellen Unterstützung neuer Technologien. Eine kurze, gezielte Anschubfinanzierung kann eine Vitaminspritze für neue Technologien sein, um diese marktfähig zu machen. Langzeitsubventionierungen hingegen vergiften die Wirtschaft. Deshalb gilt auch bei der Energiestrategie: Lesen Sie die Packungsbeilage!

Zurück in die Zukunft gibt's nur in Hollywood

Die Energiestrategie will nicht nur die Kosten erhöhen, sondern auch Energie sparen. Bis 2035 soll der Energieverbrauch auf den Stand der 60er- und 70er-Jahre gesenkt werden. So interessant eine kurze Rückblende in die Zeit der Erfindung der Drei ??? ist, eine Zeitreise in die Vergangenheit wird in der Realität schwierig. Bevölkerung und Wirtschaft sind exponentiell gewachsen, die Anzahl Maschinen und elektronischer Geräte haben zugenommen. Tendenz steigend. Zurück in die Zukunft gibt's nur in Hollywood. →

nuklearforum.ch – übersichtlich, strukturiert und modern

- ▶ **Übersichtlicher Einstieg** mit Links zu wichtigsten Inhalten
- ▶ **Umfassender Inhalt** leicht zu finden – mit neuer Struktur und moderner Suche
- ▶ Benutzerdaten und Newsletter-Abonnemente **verwalten**, Bestellungen oder Anmeldungen für Veranstaltungen **einsehen** – problemlos unter «**Mein Konto**»

Im Web vernetzt

nuklearforum.ch – die Adresse für aktuelle und umfassende Nachrichten und Fakten zur Kernenergie

- ▶ **twitter.com/kernenergienews** – Zugang zur weltweit twitternden Nuklearbranche
- ▶ **youtube.com/nuklearforum** – Nuklearforum-Videos und Empfehlungen
- ▶ **Fan von nuklearforum.ch?** Empfehlen Sie Inhalte per Mail, Facebook und Twitter weiter. Auf der Website finden Sie alle benötigten Funktionen.

Besser ist es, die Zukunft mit dem Realitätssinn eines Erwachsenen, aber auch mit viel Offenheit und Erfindergeist zu beschreiten. Die Wirtschaft tut gut daran, sich für eine Vielzahl technologischer und nachhaltiger Entwicklungen zu interessieren. Aber Prototypen müssen getestet und neue Entwicklungen faktenbasiert analysiert werden. Dann sollte neutral beurteilt werden, für welchen Bereich die Technologie einsetzbar und wo sie unzureichend ist. Genauso müssen die verschiedenen Energiesysteme faktenbasiert verglichen werden – ohne ideologische Scheuklappen.

Energieträumereien und andere Kindergeschichten

Zugegeben, ich wäre auch gerne ein Detektiv. Ich möchte herausfinden, wie ein Bürokratiemonster Energieeffizienz herbeiführt und gleichzeitig den Energiever-

brauch in kurzer Zeit um fantastische 40% senkt. Dafür fehlt mir aber die Einbildungskraft. Tatsache ist, dass die Wirtschaft im Sommer wie im Winter bezahlbaren, konstanten Strom braucht. Die Belastung von Unternehmen mit zusätzlichen Abgaben ist eine giftige Infusion für den Produktionsstandort Schweiz. Nur wenige stromintensive Unternehmen können sich diese Abgaben rückerstatten lassen, wenn sie sich zu Energieeffizienzzielen verpflichten. Für eine ausreichende Diversifizierung der Schweizer Wirtschaft brauchen wir jedoch eine starke Industrie. Deshalb darf die KEV-Abgabe nicht erhöht werden und es muss für weit mehr Unternehmen Rückerstattungsmöglichkeiten mittels Vereinbarung von Energieeffizienzzielen geschaffen werden. Die Energiestrategie in ihrer aktuellen Version ist aus wirtschaftlicher Perspektive bürokratisch, teuer und nicht zielführend.

Deutsche Anti-AKW-Missionare

Der «Westdeutsche Rundfunk» (WDR) hat sich bei der Berichterstattung über das belgische Kernkraftwerk Tihange nicht gerade mit grosser Fachkompetenz ausgezeichnet. Beim «maroden Atomkraftwerk», so WDR, sei die «Aussenhülle nachweislich von Rissen durchzogen». Weiter ist von «Rissen in der äusseren Schutzhülle» und vom «rissigen Reaktor 2» die Rede. Bevor Sie sich nun jedoch eine baufällige Reaktorkuppel vorstellen, können wir Sie beruhigen: Der Beitrag handelt ganz offensichtlich vom Stahl des Reaktordruckbehälters. Das scheinen auch die Nachbarn des Werks zu wissen, denn – so WDR: «Die Anwohner des Atomkraftwerks scheinen angesichts des Sicherheitsrisikos erstaunlich gelassen.» Da verwundert es kaum, dass der im Artikel zitierte «Experte» ein Vertreter des «Aachener Aktionsbündnis gegen Atomenergie» ist.

Einer, der es unserer Meinung nach besser wissen sollte, wurde von «20 Minuten» zu den Schweizer Kernkraftwerken befragt: Dieter Majer, der ehemalige Leiter des Bereichs Sicherheit kerntechnischer Anlagen im deutschen Bundesumweltministerium. «Ich kann nicht verstehen, dass man die Anlagen Beznau und Mühleberg nicht sofort vom Netz nimmt», gibt Majer unter anderem zum Besten. Und auf die Frage nach der Versorgungssicherheit ohne Kernkraftwerke: «Ich habe auch nicht daran geglaubt, dass es geht mit alternativen Energien – aber Deutschland hat das Gegenteil bewiesen.» Damit outet sich Majer in unseren Augen als Kohle-Leugner. Immerhin in einem Punkt sind wir mit

ihm einig: Die Energiestrategie «ist eine politische Frage, die nicht Fachexperten an der Bevölkerung vorbei entscheiden dürfen – insbesondere nicht in einem so demokratischen Land wie der Schweiz, das meiner Meinung nach die höchste Form der Demokratie hat.»

Der Gratiszeitung «20 Minuten» rechnen wir es hoch an, dass sie Majer ehrlicherweise als «umstrittenen Atomaufseher» bezeichnet und auf die Kritik des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (Ensi) an dessen Studie zur Sicherheit von Beznau und Mühleberg hinweist. Das hält jedoch eine Gruppe deutscher Bundestagsabgeordneter des Bündnis90/Die Grünen nicht davon ab, ebendiese Studie als Grundlage für eine «Kleine Anfrage» zu nehmen. Darin fordern die Grünen, verklausuliert in insgesamt 13 Fragen, dass die Bundesregierung bei der bilateralen Zusammenarbeit mit der Schweiz Druck ausüben soll, damit Beznau möglichst bald abgeschaltet wird.

Wir fordern nun unsere Regierung auf, sich in Berlin für die sofortige Stilllegung der deutschen Kohlekraftwerke einzusetzen. Die mögen zwar nicht so nahe bei der Grenze stehen wie Beznau und sind grösstenteils jünger – was ja eigentlich an sich schon ein Skandal ist. Jedoch stellen sie, im Gegensatz zu allen Kernkraftwerken in Deutschland und der Schweiz, nicht nur ein potenzielles Gesundheitsrisiko dar. Wer im Glashaus sitzt, ... (M.Re.)

Zum Gedenken

Der ehemalige Präsident der SVA, Prof. Walter Winkler, ist 88-jährig verstorben

Prof. Walter Winkler, geboren 1927 in Basel, arbeitete sich aus bescheidenen Verhältnissen nach oben. An seine Laborantenlehre fügte er ein HTL-Studium an und doktorierte später an der Universität Bern als Physiker. Dort hatte er auch einen nebenamtlichen Lehrauftrag für Reaktorphysik inne und später, als Extraordinarius, ein Zusatzpensum in Experimentalphysik.

Winkler war vom Nutzen der Kernenergie zutiefst überzeugt. Entsprechend spielte er in der nuklearen Forschung eine wichtige Rolle und blieb ihr ein Leben lang verbunden, unter anderem auch als wissenschaftlicher Berater des Generalstabschefs der Schweizer Armee. Im Auftrag der Schweizer Unternehmen BBC, Escher-Wyss und Sulzer nahm er ein Jahr lang am amerikanischen «Atoms for Peace»-Programm teil. Aus dieser Arbeitsgemeinschaft entwickelten sich später die Reaktor AG, das Eidgenössische Institut für Reaktorforschung und schliesslich das Paul Scherrer Institut (PSI). In diesen Institutionen war Winkler in leitender Position angestellt. Von 1971 bis 1978 präsidierte Winkler im Nebenamt die Schweizerische Vereinigung für Atomenergie (SVA), die Vorgängerorganisation des Nuklearforums Schweiz. In dieser Funktion kamen seine hervorragenden Fähigkeiten als Kommunikator bestens zum Zug.

Winkler hatte zudem ein pädagogisches Talent: Er wurde 1965 Gründungsdirektor der Höheren Technischen Lehranstalt (HTL) Brugg-Windisch, die heute in die

Fachhochschule Nordwestschweiz integriert ist. 25 Jahre prägte er diese Ingenieurschule. Zusätzlich stieg er – nebenberuflich – im Militär bis in den Rang eines Brigadiers auf. Er kommandierte während Jahren die legendäre Festungsbrigade 23, die sogenannte Gotthardbrigade.

Bereits in den sechziger Jahren sah Winkler eine massive Zunahme des Energieverbrauchs voraus. Die zunehmend ideologisierte und emotional geführte Diskussion rund um die Kernenergie irritierte ihn. Anstatt fossile Energieträger zu verbrennen, erschien es ihm klüger, die Energienachfrage mittels neuer erneuerbarer Energien und mit Hilfe der Kernenergie zu decken. Winkler glaubte an den technischen Fortschritt als Mittel zur Gestaltung einer menschenwürdigen Zukunft.

Am 2. Mai 2015 ist Walter Winkler 88-jährig verstorben. (S. Ry in Anlehnung an Nachrufe in der NZZ am Sonntag und der Aargauer Zeitung)

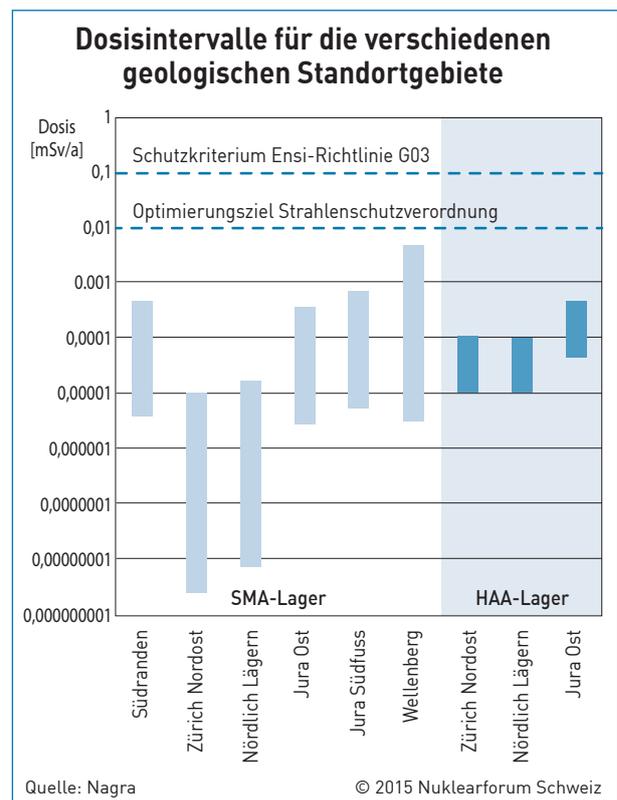
Dritter Forumstreff: «Akzeptanz ist kein Kriterium»

Ende Januar 2015 hat das Bundesamt für Energie (BFE) die Vorschläge der Nagra für die beiden Standortgebiete zur weiteren Untersuchung in der dritten Etappe des Sachplanverfahrens geologische Tiefenlager vorgestellt. Am 3. Forums-Treff des Nuklearforums am 1. Juli 2015 im «Au Premier» im Hauptbahnhof Zürich informierte Thomas Ernst, Vorsitzender der Nagra-Geschäftsleitung, aus erster Hand über den Weg zur Wahl der Standortgebiete «Jura Ost» und «Zürich Nordost» sowie das weitere Vorgehen.

Vor rund 60 Zuhörern unterstrich Thomas Ernst das Primat der Sicherheit bei der Wahl des Lagerstandorts. «Unter den 13 Kriterien für den Standortvergleich fehlt die Akzeptanz der Region oder des Kantons», machte er deutlich. Es gälten einzig technisch-wissenschaftliche Kriterien, und diese seien im Voraus festgelegt worden. Das stelle sicher, dass keine willkürlichen Entscheide gefällt werden (vgl. dazu «Bulletin» 1/2015).

Trotz der vorgeschlagenen Einengung auf die beiden am besten geeigneten der bisherigen sechs Standortgebiete dürfe nicht vergessen werden, dass alle Standortgebiete die Dosis-Schutzvorgaben erfüllen, machte Ernst deutlich (siehe Grafik). Die Dosisintervalle wurden von der Nagra aufgrund der Vorgaben des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (Ensi) berechnet und umfassen sowohl die schwach- und mittelaktiven Abfälle (SMA) wie auch die hochaktiven (HAA)¹. Somit könnten die Tiefenlager in allen diesen Gebieten gebaut werden, betonte Ernst. Die Nagra hoffe, dass das Gutachten des Ensi bis Mitte 2016 vorliege, der Bundesrat im Jahr 2017 über die Vorschläge der Nagra entscheide und damit die letzte Etappe des Sachplanverfahrens einläute.

In der Diskussion betonte Ernst nochmals, dass auch der Wellenberg uneingeschränkt als SMA-Lagerstandort in Frage komme. Im Quervergleich böten jedoch die



beiden anderen Standortregionen mehr Vorteile. Er machte auch deutlich, dass die oft gehörte Forderung nach einem lokalen Vetorecht dem Primat der Sicherheit diametral widerspricht. Und, falls der geeignetste Standort von der lokalen Bevölkerung abgelehnt würde: «Warum sollten dann die Leute am zweitbesten Ort Ja sagen?» (M.S.)

¹ Anmerkung der Redaktion: Die Vorgabe des Ensi liegt 50 Mal tiefer als die durchschnittliche Strahlenbelastung in der Schweiz einschliesslich Medizin (5,6 mSv/a); der Optimierungswert der Strahlenschutzverordnung liegt sogar 500 Mal tiefer. Unterhalb dieses Werts haben Strahlendosen keinerlei praktische Relevanz und eine Differenzierung der Gesteine ist nicht mehr sinnvoll.

Ankündigung: Vertiefungskurs 2015 des Nuklearforums Schweiz

17. und 18. November 2015, Hotel Arte, Olten

Kostenoptimierung in Kernkraftwerken – Möglichkeiten und Grenzen im Rahmen einer guten Sicherheitskultur

Das sicherheitstechnische Regelwerk der Schweizer Kernkraftwerke gehört zu den strengsten der Welt. Weder seine Normen noch die Sicherheitskultur in Schweizer Kernkraftwerken sind verhandelbar. Das angespannte wirtschaftliche Umfeld der Energiebranche drängt jedoch, gezielt Massnahmen zu treffen, um die Produktionskosten zu senken. In dieser ökonomisch wie auch regulatorisch und politisch anspruchsvollen Situation den richtigen Weg zu finden, kann nur gelingen, wenn neben den Mitarbeitenden in den Werken auch Zulieferer sowie Lehre und Forschung ihre Beiträge leisten. Vorgesetzte müssen noch besser in der Lage sein, mit ihrem Know-how und ihrer Erfahrung die richtigen Prioritäten zu setzen und die Mitarbeitenden für neue Wege zu gewinnen. Motivierende Führung ist gefragt, damit alle ihre Ideen einbringen und etablierte Abläufe hinterfragen. Die Aus- und Weiterbildungsangebote sowie die Forschung, die selber mit reduzierten Budgets zu leben hat, müssen diese Bedürfnisse aufnehmen.

Der Vertiefungskurs 2015 nimmt diese Vielfalt an Themen auf. Nach einer Einführung in die politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden betriebswirtschaftliche und technische Optimierungsmöglichkeiten betrachtet. Die Mitverantwortung der Mitarbeitenden für die Senkung der Produktionskosten kommt ebenso zur Sprache wie das Thema der organisatorischen Voraussetzungen von Kostenoptimierungen in Kernkraftwerken. Schliesslich wird der Frage nachgegangen, welche Massnahmen unter dem bestehenden Kostendruck für den Langzeitbetrieb eines Werkes zielführend sind.

Der Vertiefungskurs richtet sich an Mitarbeitende in Kernkraftwerken und Zulieferfirmen, an Vertreter von Behörden, an Energiepolitiker sowie an Studierende und Assistierende an technischen Universitäten und Fachhochschulen. (S. Ry.)

Weitere Informationen finden Sie unter:
www.nuklearforum.ch/vertiefungskurs-2015.

Nächster Forums-Treff am 8. Oktober um 17.10 Uhr

Der vierte Forums-Treff des Nuklearforums Schweiz im Jahr 2015 widmet sich dem Themenkreis Kinderleukämie und Kernkraftwerke. Es referieren Prof. Dr. med. Felix Niggli, Leiter Kinderonkologie am Universitätsspital Zürich, und Dr. med. Jürg Schädelin, ehemaliger Forschungsleiter von Novartis. Der Vortrag findet im Restaurant Au Premier im Hauptbahnhof Zürich statt. Im Anschluss an die Referate sind Sie herzlich zu einem Apéro eingeladen.

www.nuklearforum.ch/4-forums-treff

Vertiefungskurs des Nuklearforums

«Kostenoptimierung in Kernkraftwerken: Möglichkeiten und Grenzen im Rahmen einer guten Sicherheitskultur»

17. und 18. November 2015
Kongresszentrum Arte, Olten

www.nuklearforum.ch/vertiefungskurs-2015

SGK-Weiterbildungsseminar

Die Schweizerische Gesellschaft der Kernfachleute (SGK) bietet am 11. November 2015 im PSI Bildungszentrum ein eintägiges Weiterbildungsseminar zum Thema «Was Sie schon immer über Radioaktivität und Strahlung wissen wollten!» an.

www.kernfachleute.ch



Foto: SGK

Nächster SGK-Apéro

Am 3. November 2015 findet im Conference Center Olten der nächste SGK-Apéro der «Wissen»-schaf(f)t! statt.

www.kernfachleute.ch

E-Bulletin-Newsletter

Woche für Woche umfassend informiert sein: Abonnieren Sie unseren E-Bulletin-Newsletter, den Sie nach Ihren Bedürfnissen zusammenstellen können. Der Newsletter wird jeweils am Mittwoch direkt Ihrer Mailbox zugestellt.

www.nuklearforum.ch/newsletter

Nuklearforum auf Twitter

Das Nuklearforum betreibt einen eigenen Kanal auf Twitter. Hier sind die aktuellsten Nachrichten des E-Bulletins und die neusten Tweets zugänglich. Mit Hilfe 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

Nagra-Sonderausstellung

«Time-Ride – eine spektakuläre Reise
in die Tiefe der Erde»

Die Ausstellung informiert über das Konzept zur Entsorgung radioaktiver Abfälle.

Olma St. Gallen: 8. bis 18. Oktober 2015

www.timeride.ch



Foto: Nagra / Comet Photoshopping GmbH / Dieter Enz