

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 140 (2014)
Heft: 49: Kernkraftwerke rückbauen

Artikel: Rückbau von KKW : wo steht die Schweiz?
Autor: Knüsel, Paul
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-515394>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Der Kühlturm des Kernkraftwerks
Gösgen SO im Bau 1975.



NICHT FÜR DIE EWIGKEIT GEBAUT

Rückbau von KKW: Wo steht die Schweiz?

Die ersten Kernkraftwerke sind ohne grossen Aufruhr in Betrieb genommen worden. Die Stilllegung der rund 40 Jahre alten Energieerzeugungsanlagen hat jedoch politische Grabenkämpfe provoziert. Sicher ist: Mühleberg geht 2019 vom Netz. Aber wie geht es danach weiter?

Text: Paul Knüsel



in Turm, der fast alle Bauwerke in der Schweiz überragt; daneben eine Kuppel aus fast 2 m dicken, bombensicheren Wänden sowie ein Maschinenhaus mit riesigen Turbinen und Generatoren. Moderne Kernkraftwerke fallen durch ihre räumlichen Dimension in ungewohntem Massstab auf; ihre Bausubstanz ist derart unverkennbar und massiv, weil darin eine schwer fassbare Gefahr kontrolliert genutzt werden muss: der Kernreaktor. Die Hauptingredienz, das gespaltene Uranatom, strahlt mindestens 200000 Jahre lang für Mensch und Umwelt gefährliche Alpha- und Gammastrahlen ab. Doch nur für einen Bruchteil dieser Spanne ist die sorg- und gefahrlose Nutzung von Nuklearenergie überhaupt möglich. Der Kernzerfall nagt am Material: Spätestens wenn der Reaktordruckbehälter aus Edelstahl (bis 160 bar) versprödet, ist die technische Lebensdauer von Kernkraftwerken zu Ende. Selbst die Betreiber wissen, dass die nukleare Energieerzeugungsmaschine nicht ad infinitum funktioniert; kein KKW ist für die Ewigkeit gebaut. Würden neue Anlagen errichtet, das Rückbaukonzept wäre bereits vor dem Spatenstich fest eingeplant. Die verwendeten Materialien wären geringer aktivierbar, die festen Einrichtungen einfacher demontierbar, die Sperrzonen kleinräumiger abschliessbar und zudem mehr Flächen im Voraus für die Entsorgungslogistik reserviert. Darauf hat das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat Ensi zumindest hingewiesen, als vor sechs Jahren die Rahmenbewilligungsgesuche für drei Ersatzkernkraftwerke in Gösgen, Beznau und Mühleberg eingereicht worden sind. Diese Vorhaben sind inzwischen

Internationale Standards

Die Aufsichtsbehörde Ensi (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat) arbeitet in Stilllegungskommissionen und -arbeitsgruppen internationaler Organisationen mit und hat über den Stilllegungsausschuss der deutschen Entsorgungskommission Einblick in dortige Rückbauprojekte. Bei Bedarf werden ausländische Sachverständige, zum Beispiel TÜV-Süd, für die Analyse inländischer Stilllegungskonzepte beigezogen. Wichtige Umsetzungsstandards stammen von der Western European Nuclear Regulator's Association (Wenra). Die Stilllegungsrichtlinie des Ensi schreibt deshalb vor, dass der sofortige Rückbau der Kernkraftwerke zu bevorzugen ist. Sie fordert zudem von den KKW-Betreibern, das Stilllegungsprojekt spätestens zwei Jahre nach endgültiger Ausserbetriebnahme vorzulegen.

sistiert; stattdessen wird nun über die ersatzlose Stilllegung und Rückbau der fünf inländischen Leistungsreaktoren debattiert (Abb. S. 24). In der Energiestrategie 2050 des Bundes bleibt einzig die Frage offen, wann es die Kernkraftwerke abzuschalten und unschädlich abzuwracken gilt (vgl. Kasten S. 24). Dieser Zeitpunkt sei noch «in weiter Ferne» respektive werde so lang nicht eintreten, «bis der sichere und wirtschaftliche Betrieb nicht länger aufrecht erhalten werden kann», erklärt Axpo-Sprecher Tobias Kistner. Nur in Leibstadt und Mühleberg werden Rückbautermine genannt: «Vor 2045 möchten wir die Anlage nicht ausser Betrieb nehmen», hofft Leibstadt-Sprecherin Andrea Portmann. Die BKW AG hat jedoch «unternehmerisch» entschieden, das KKW Mühleberg, die drittälteste Anlage der Schweiz, 2019 endgültig stillzulegen.

Kerntechnische Begriffe

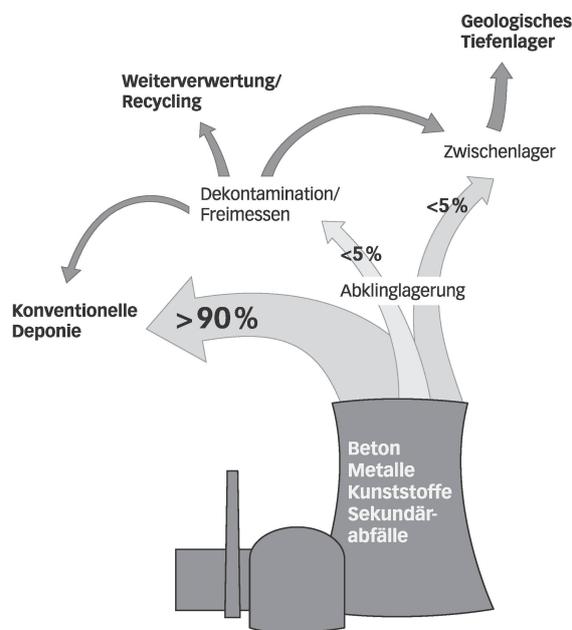
Aktivierung: Stoffe wie Stahl und Beton können durch Bestrahlung mit Neutronen selbst radioaktiv werden; die Radionuklide verteilen sich im Material, sodass sie praktisch nicht entfernbar sind.

Kontamination/Dekontamination: An Materialoberflächen können radioaktive Stoffe haften, die beispielsweise durch Abspülen, mit chemischen Lösungsmitteln oder durch Abschleifen wieder entfernt werden können.

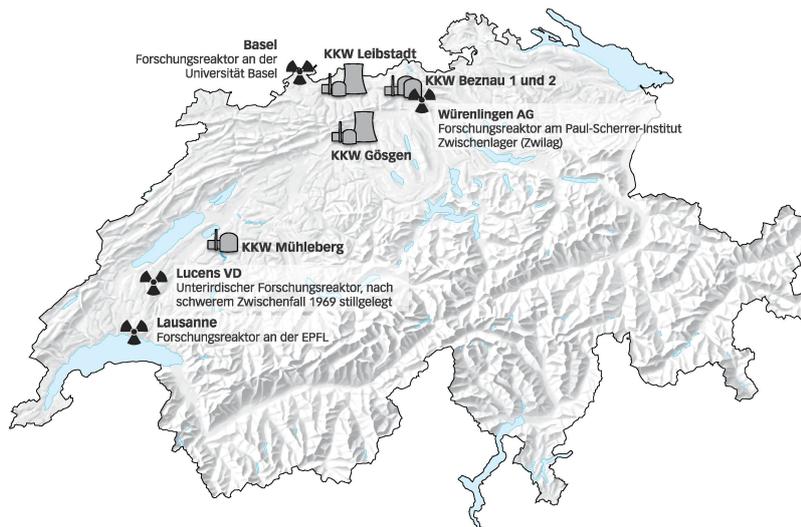
Konditionierung: Endlagerechte Aufbereitung und Verpackung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente, meistens mit einer Reduktion des Volumens verbunden.

Freigabe/Freimessen/Freigrenzen: Materialien, Gebäude und der Standort kerntechnischer Anlagen können aus dem Geltungsbereich der Kernenergiegesetzgebung entlassen werden, wenn die Radionuklidkonzentrationen unter den Freigabewerten (Freigrenzen) im Strahlenschutzgesetz liegen, was mithilfe des Freimessens der Radioisotope nachgewiesen werden muss.

Leichtwasserreaktor: Die Kernkraftwerke der Schweiz sind Druckwasser- und Siedewasserreaktoren, mit Leichtwasser (H₂O mit Wasserstoffisotop Protium) als Kühlmittel und zur Moderation (Abbremsen) der Neutronenbestrahlung.



Die inaktiven und dekontaminierten Wertstoffe und die radioaktiven Abfälle gehen unterschiedliche Wege.



Kernkraftwerke und Forschungsreaktoren in der Schweiz

Standort	Bruttoleistung	Reaktortyp	Laufzeit bisher (Inbetriebnahme)	Stilllegungskosten	Entsorgungskosten
Beznau 1 AG	380 MW	Druckwasser	45 Jahre (1969)	zusammen	zusammen
Beznau 2 AG	380 MW	Druckwasser	42 Jahre (1972)	809 Mio. Fr.	4.1 Mrd. Fr.
Mühleberg BE	372 MW	Siedewasser	42 Jahre (1972)	487 Mio. Fr.	1.8 Mrd. Fr.
Gösgen SO	1020 MW	Druckwasser	35 Jahre (1979)	663 Mio. Fr.	5.1 Mrd. Fr.
Leibstadt AG	1220 MW	Siedewasser	30 Jahre (1984)	920 Mio. Fr.	4.9 Mrd. Fr.

Stilllegung Mühleberg planen

Der 372-MW_{el}-Siedewasserreaktor ist dreimal kleiner als die jüngeren Anlagen in Gösgen oder Leibstadt; und im Vergleich dazu fehlt in Mühleberg der Kühlturm. Doch auch so bleibt ein Koloss aus rund 200 000 t Beton, Stahl, Metall und Dichtungsmaterial, der 42 Jahre betrieben werden konnte und dessen Rückbau halb so lang dauern sollte. «Die Arbeiten beginnen unmittelbar nach dem Abschalttermin. Die radioaktiven Quellen werden schnellstmöglich aus dem Reaktor beseitigt», erklärt BKW-Konzernsprecher Tobias Fässler. Zuerst wird der Reaktorkern ausgeräumt: Die hochaktiven Brennelemente werden zum Auskühlen in ein Abklingbecken verschoben. Aus Sicherheitsgründen werden die Lüftungs- und Filteranlagen weiterhin funktionieren; die Strom- und Wasserversorgung sowie die Überwachungssysteme bleiben ebenfalls in Betrieb. Fünf Jahre später werden die radioaktiven Strahlungsquellen abtransportiert.

Solange die Standortsuche für ein geologisches Tiefenlager in der Schweiz läuft (vgl. TEC21 41/2010), werden alle schwach bis hoch radioaktiven Stilllegungsabfälle in das Zwischenlager Zwilag in Würenlingen gebracht. Exporte zur Abfallentsorgung oder Wiederaufbereitung sind seit 2006 ausgesetzt und werden im revidierten Kernenergiegesetz definitiv verboten. Der Standort Mühleberg wird ab 2024 von den übrigen nuklearen Anlagenteilen befreit, sodass sechs Jahre später

Abbruch und Demontage der konventionellen Kraftwerksteile beginnen können. Vier Jahre später soll der KKW-Standort an der Aare aufgehoben sein. Doch wird er ab 2034 wieder grüne Wiese? «Der Entscheid für eine industrielle oder naturnahe Nachnutzung folgt in den nächsten Jahren», ergänzt Fässler. Der Abschluss des Stilllegungsprojekts wird unabhängig davon im Kernenergiegesetz definiert: Sobald das Areal frei von radiologischen Gefahrenquellen ist, die Strahlendosis Dutzender Radionuklide (vgl. Kasten «Kerntechnische Begriffe», S. 23) die Richtwerte einhält, die Bauten kontaminationsfrei sind und Abfälle sachgerecht entsorgt sind, wird die Anlage aus der Aufsichtspflicht entlassen.

Die Kontrollbehörde Ensi ist aber jetzt schon in die Mühleberg-Planung involviert: Bis Ende Jahr erwartet sie von der BKW ein Konzept für den Abtransport und die Zwischenlagerung des Kernbrennstoffs, inklusive Beschaffung der Transport- und Lagerbehälter. Und zudem hilft eine Begleitgruppe, bestehend aus Ensi, den Bundesämtern für Energie, Umwelt und Raumentwicklung sowie dem Standortkanton Bern, die «pionierhafte Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg» zu koordinieren. «Ziel ist ein möglichst effizientes, sicherheitsgerichtetes und zielführendes Bewilligungsverfahren», erklärt David Suchet, Mediensprecher der Ensi. Bis in zwölf Monaten möchte die BKW das offizielle Stilllegungsdossier übergeben. Grünes Licht für den Rückbau gibt der Bund danach per Verfügung, die von der direkt betroffenen Bevölkerung mit Beschwerde

Diskussion über Laufzeiten und Kosten

Gegenstand der laufenden parlamentarischen Energiewende-Beratungen ist die Laufzeitbeschränkung der Kernkraftwerke. Die Grundsatzfrage lautet: «45 Jahre oder mehr?» In vielen Ländern ist eine Betriebsdauer zwischen 50 und 60 Jahre zugelassen. Die Atomausstiegsinitiative der Grünen Partei verlangt die schnelle Abschaltvariante; die Mehrheit im Bundesparlament tendiert zum längeren KKW-Betrieb und will einen Gegenvorschlag für den nationalen Urnengang präsentieren. Umstritten sind auch Berechnung und Finanzierung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten, die grundsätzlich die KKW-Betreiber zu bezahlen haben. Für die Stilllegung der fünf Anlagen werden beinahe 3 Mrd. Fr. veranschlagt; die Zwischen- und Endlagerung der hoch- sowie schwach- und mittelaktiven Stilllegungsabfälle werden zusätzlich rund 16 Mrd. Fr. kosten. Die Schweizerische Energiestiftung SES kritisiert, dass die Kostenschätzungen weder verlässlich noch ausreichend hoch sind.

angefochten werden kann. Der Blick nach Deutschland zeigt, dass Laufzeit und Kosten politisch umstritten sind, der technische Rückbau aber kaum Widerstand provoziert.

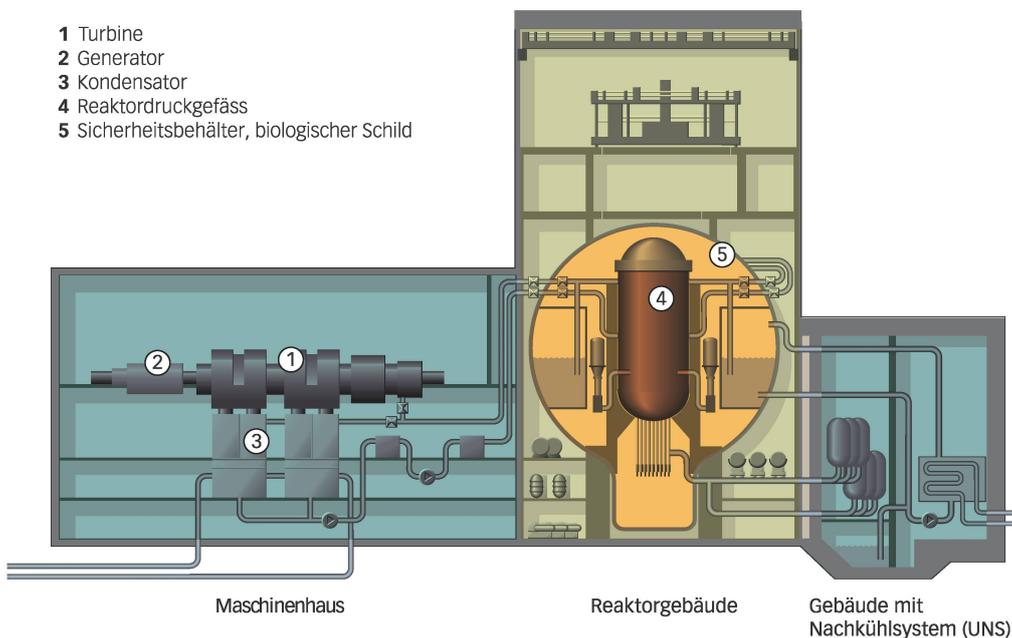
Referenz-Rückbaustellen in Deutschland

Das nördliche Nachbarland nimmt bei Stilllegung, Abbruch und Entsorgung von Kernanlagen eine europäische Führungsrolle ein. Die grössten Rückbaustellen sind das KKW Mülheim-Kärlich am Niederrhein, 1988 stillgelegt und bis 2025 abgeräumt, sowie die Grossanlage in Greifswald mit fünf Leistungsreaktoren – hier läuft die Demontage seit 20 Jahren. Der Rückbau des 670-MW-KKW Würgassen soll nach 17 Jahren demnächst seinen Abschluss finden (Abb. unten). 17 Anlagen

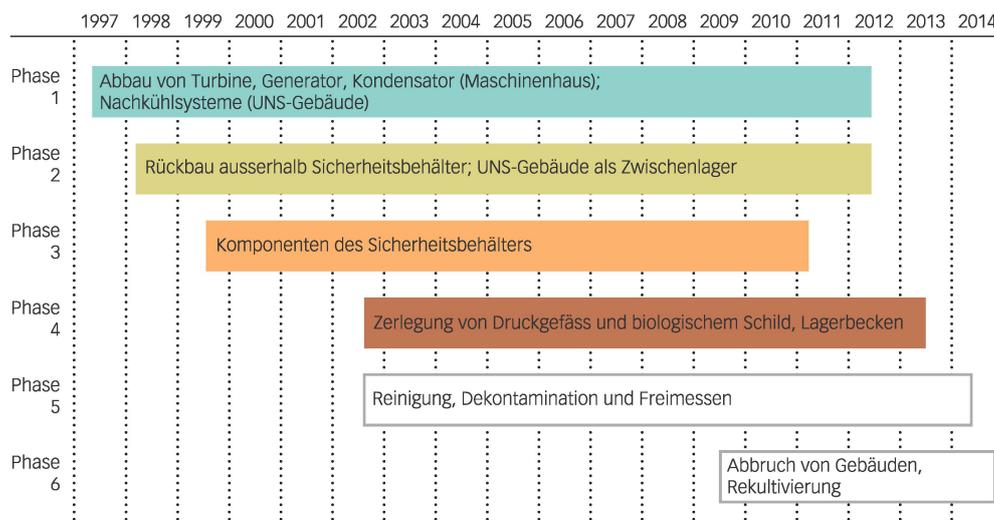
sind offline und warten auf baldigen Abbruch. Weitere Stilllegungsprojekte sind aus Spanien, Belgien und Schweden bekannt. «Wir haben die Erfahrungen von 37 Kraftwerken analysiert, davon 22 in Deutschland», erklärt BKW-Sprecher Tobias Fässler. Derweil hat der Energiekonzern Alpiq selbst ein deutsches Rückbauunternehmen eingekauft.

Die inländischen KKW-Betreiber sind jedoch gesetzlich gezwungen, sich auf dem Laufenden zu halten: Alle fünf Jahre sammelt der Verband Swissnuclear die aktuellen Angaben zu den anlagespezifischen Stilllegungskosten. Die letzten Daten stammen von 2011; sie beruhen auf einem Standardmodell und Erfahrungswerten aus Deutschland. So wird der Nachbetrieb etwa fünf Jahre dauern; der Rückbau sollte rund zehn Jahre später mit der Entlassung aus dem Kernenergiegesetz

- 1 Turbine
- 2 Generator
- 3 Kondensator
- 4 Reaktordruckgefäss
- 5 Sicherheitsbehälter, biologischer Schild



Rückbauplan



Beispielhafter Ablauf des Rückbaus: Zeitplan beim KKW Würgassen (D).

«Ein Abfallberg – über eine halbe Million Tonnen schwer»

TEC21: Wie gross ist der Abfallberg aus einem stillgelegten Kernkraftwerk?

Harald Maxeiner: Unsere Schätzungen belaufen sich auf rund 200 000 t bis 700 000 t, je nach Grösse oder Leistung des Kernkraftwerks. Davon sind 180 000 t bis 670 000 t konventionelle, also nicht radioaktive Abfälle. Von den verbleibenden radioaktiven Abfällen ist ein Grossteil dekontaminierbar; ihre Verstrahlung lässt sich durch Reinigungsprozesse säubern. Insofern fallen 3000 t bis 6500 t schwach- und mittelaktive Abfälle pro stillgelegtes KKW für Konditionierung und geologische Tiefenlagerung an. Siedewasserreaktoren verursachen aber mehr Abfall als Druckwasserreaktoren.

Wie erfolgt eine Dekontamination?

Maxeiner: In der Nachbetriebsphase kann möglichst viel Aktivität aus der Anlage entfernt werden, wenn Rohrleitungssysteme gespült und gereinigt werden. Dies vermindert die spätere Dosisbelastung für das Stilllegungspersonal und die sekundäre Belastung der Rückbaumaterialien. Die Reinigung kontaminierter Bau- und Anlageteile

mit chemischen und mechanischen Verfahren erfolgt am geschützten Ort. Zudem können schwachaktive Materialien allenfalls in ein Abklinglager gebracht werden. Dort lagern sie, bis ihre Strahlungsaktivität unter den gesetzlichen Werten, den Freigrenzen, liegt. Mit dem sogenannten Freimessen wird der Nachweis erbracht, dass die Materialien abschliessend schadlos entsorgt oder weiterverwendet werden dürfen. Unter einem Abklinglager kann man sich eine Halle vorstellen, in der das Material bis zu 30 Jahre lang aufbewahrt werden darf. Bei Zerlegung und Reinigung fallen 300 t bis 750 t Sekundärabfälle wie Abwasser oder Werkzeuge an.

Welchen Anteil nehmen die Stilllegungsabfälle der Kernkraftwerke in der Schweiz ein?

Maxeiner: Stilllegungsabfälle fielen in der Vergangenheit beim Rückbau von Forschungsreaktoren des Paul-Scherrer-Instituts an; weitaus grössere Mengen werden aus der Stilllegung der Teilchenbeschleuniger am PSI und am Cern erwartet. Die Stilllegungsabfälle der KKW werden mittelfristig und men-

genmässig ebenfalls signifikant sein. Gemäss Informationssystem für radioaktive Materialien (Isram) und dem Modellhaften Inventar für radioaktive Materialien (Miram 08) wird der Anteil der Forschungsabfälle rund ein Viertel des gesamten Abfalls für die geologische Tiefenlagerung in der Schweiz umfassen. Die Abfälle aus der Stilllegung der Kernkraftwerke werden nach Konditionierung und Verfüllung für die Tiefenlagerung ein Volumen von etwa 32 000 m³ ausfüllen. Sowohl die existierenden als auch die zu erwartenden Abfallvolumina aus Forschungsbereich und KKW-Stilllegung sind im Konzept der Tiefenlagerung und der Standortsuche enthalten.



Dr. Harald Maxeiner,
Bereichsleiter
Radioaktive
Materialien
Nagra

beendet sein. Weitere grundlegende Erkenntnisse sind: Nukleare Hauptbestandteile wie Druckbehälter oder Teile des biologischen Schilts und der Betonhülle werden prioritär abgebaut. Der Rückbau von Reaktorkuppel und anderen Sperrbereichen erfolgt frühestens in zehn Jahren, erst aber im ausgeräumten Zustand. Und Siedewasserreaktoren erhöhen den Rückbau- und Entsorgungsaufwand im Vergleich zum Druckwasserreaktor.

Eine alternative Stilllegungsvariante bietet der «sichere Einschluss»: In Deutschland wurden drei Reaktoranlagen nicht sofort zurückgebaut, sondern technisch angepasst und vorläufig stehen gelassen. Die Strahlendosis der Reaktorkomponenten klingt natürlich ab; bis zu 50 Jahre Warten hilft dadurch, den Dekontaminationsaufwand wesentlich zu reduzieren. Obwohl inländische KKW-Betreiber die Einschlussstrategie für preisgünstiger halten, bevorzugt das Ensi den zeitnahen Rückbau (vgl. Kasten «Internationale Standards», S. 23).

Unabhängig vom Zeitplan verursacht jeder Rückbau sehr viel qualitativ unterschiedliches Material. Zwar sind nur die Brennelemente hochaktiv. Und insgesamt fallen rund 3% der Mühleberg-Baumasse in die Kategorie der radioaktiven Abfälle, wofür Zwischenlagerung respektive geologisches Tiefenlager der richtige Entsorgungsweg ist. Doch jedes Kilogramm Rückbaumaterial, das dank sorgfältiger Trennung, Reinigung oder Dekontamination nicht als radioaktiver Abfall, sondern konventionell entsorgt werden kann, entlastet das Stilllegungsbudget überproportional. Wie viele Reaktorkomponenten als verstrahlt anzunehmen sind, lässt sich aktuell aber nur mit grossen Unsicher-

heiten abschätzen: Beim Rückbau deutscher Anlagen ist zuletzt aufgefallen, dass der Betonmantel stärker kontaminiert ist als zuvor angenommen. Und zudem soll der Bewertungsrahmen für die Freimessung strenger werden: Gemäss David Suchet sind die Freigrenzen der Isotopenpalette an internationale Standards anzugleichen; in anderen Staaten werden bis zu 800 Radionuklide erhoben. Swissnuclear hat seinerseits die Kosten für Stilllegung und Entsorgung zwischen 2006 und 2011 um fast 20% nach oben korrigiert. Und sogar die Entsorgung von freigemessenem Betonabbruch und Stahlschrott kann Probleme bereiten. Anwohner von deutschen Deponien beginnen sich gegen die Ablagerung von unbedenklichen Stilllegungsabfällen zu wehren.

Viele solcher Details werden an den regelmässigen Fachkonferenzen über die Stilllegung und den Rückbau von Kernkraftwerken diskutiert. In den Tagungsprogrammen haben sich weitere, ungewöhnliche Themen etabliert: die Rolle der Fachkräfte, die ihren eigenen Arbeitsplatz aufheben sollen, und die Gefahr eines Know-how-Verlusts, bevor die Anlage stillgelegt ist. Auch die BKW ist sich bewusst, dass der Mühleberg-Rückbau mit angemessenen personellen Ressourcen umzusetzen ist. «Wir legen grossen Wert darauf, das interne Know-how für die Stilllegung zu nutzen, und bilden die jetzigen Mitarbeitenden dazu aus», bestätigt Tobias Fässler. Wichtig für Ensi-Vertreter David Suchet ist zudem, dass die «Zusammenarbeit zwischen internem Werkpersonal und externen Spezialisten funktioniert». •

Paul Knüsel, Redaktor Umwelt/Energie