

Atomerőművek leszerelésével kapcsolatos feladatok

Dr. Prodán Miklós

c. egyetemi docens

(Tárgyfelelős: Kiss Attila, PhD, Assistant professor,
Institute of Nuclear Techniques NTI BME)

2019/2020/1

Atomerőművek leszerelése

Tartalom:

- A KIT (Karlsruhe Institute of Technology) kísérleti reaktorának leszerelése – Németország.
- Svájc egyik legrégebbi atomerőművének (KKW Mühleberg) a leszerelési terve

Atomerőművek leszerelése

Atomerőművi anyagvizsgálatok tárgya

2019/2020/1 őszi félév

Az előző és a mostani előadás (a negyedik és ötödik) előadójának bemutatkozása:

A tárgy főelőadója, összességében tanszéki koordinátora: Dr. Kiss Attila, PhD, Assistant Professor NTI



Dr. PRODÁN Miklós
János
Senior lecturer

PERSONAL DATA
Affiliation: Budapest University of Technology and Economics (BME), Department of Materials Science and Engineering (ATT)
Telephone: +36 1 334 1276
E-mail: drprodan.miklos@gmail.com

Dr. Miklós János Prodán was born on 21 March 1947 as a Hungarian citizen. He received his diploma (Msc.) as a mechanical engineer in 1970 at the Technical University of Budapest (BME). During his first professional year he worked in the Ministry of Foreign Trade (Department of Ironworks and Machine Industry) and was an invited lecturer at BME, the Budapest University of Technology 1970-1971. In 1971 he emigrated to Zürich (Switzerland), where he was a researcher and engineer in several positions till his retirement in 2012. He earned a second degree in materials engineering in 1975 (post-graduate study) and his PhD in 1983 at the Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zürich, Dr.sc.techn.). In 1986 he also became a Swiss citizen additional to his originally Hungarian citizenship. Except for university institutions (Swiss Laboratories for Materials Testing (EMPA) and Nuclear Reactor Research Institute (EIR)) he also worked as a Leader of Group and a Head of Department in the machine industry at Sulzer Ltd. in Winterthur and Alusuisse in Zürich. His fields of activities were non-destructive and destructive material testing, fracture mechanics, fatigue, safety of nuclear reactor components, pressure vessels, pipes, structural integrity and also the technical education of university students. He is a member of the Mechanics and Industry Group of the Swiss Academy of Engineering and Technological Sciences (SATW= Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften) since 1998 and of the Hungarian Academy of Engineers (MMA) since 2015. In 2014 M. J. Prodán received an invitation as a Senior Lecturer at ATT BME, Department of Materials Science and Engineering, Budapest University of Technology and Economics. Since then he has been living partly in Budapest and partly in Zürich, Switzerland.

Budapest University of Technology and Economics (BME) Institute of Nuclear Technics (NTI)
Prodán M. J.: On the Structural Integrity of Atomic Reactor Components (Vessels, Pipes, etc.)

Atomerőművek leszerelése

Atomerőművi anyagvizsgálatok tárgy

2019/2020/1 őszi félév

Egy atomerőmű szép környezetben:



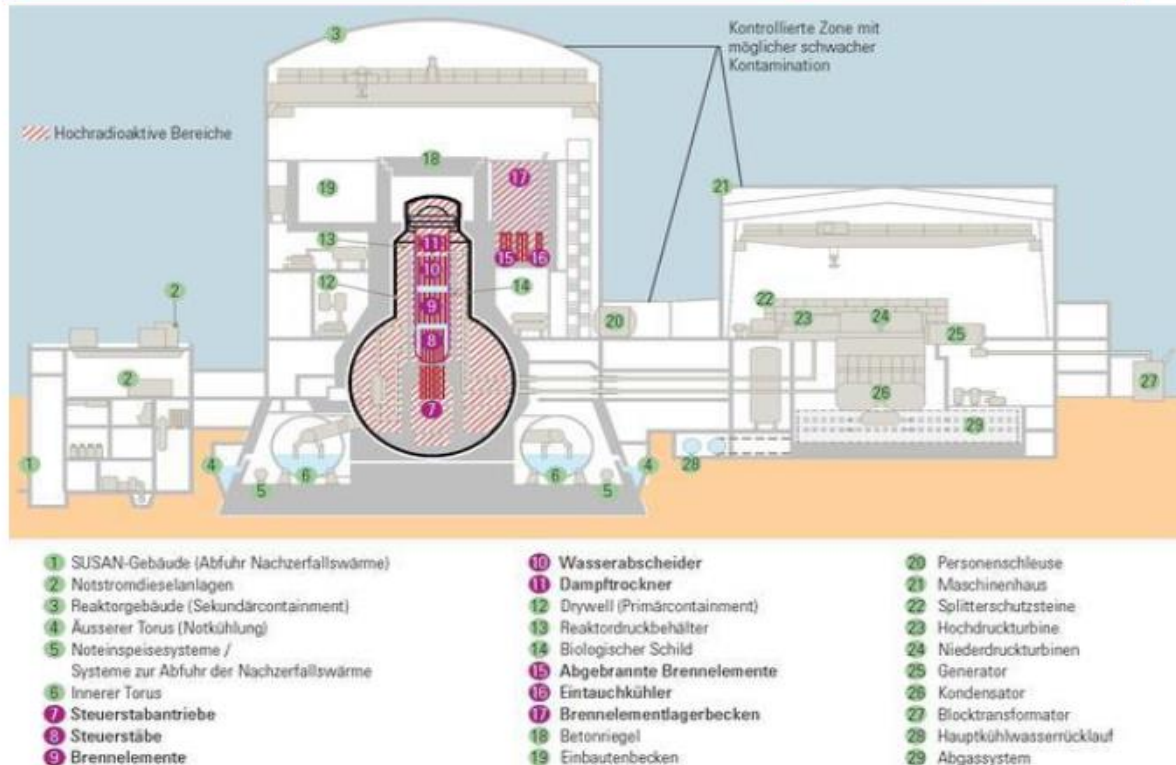
Budapest University of Technology and Economics (BME) Institute of Nuclear Technics (NTI)
Prodán M. J.: On the Structural Integrity of Atomic Reactor Components (Vessels, Pipes, etc.)

Atomerőművek leszerelése

Atomerőművi anyagvizsgálatok tárgy

2019/2020/1 őszi félév

Az előző dia atomerőművének műszaki ábrája (metszete):



QUELLE: BfW

Stilllegung und Abbruch im Zeitverlauf



NZZ-Integrität/dk

Budapest University of Technology and Economics (BME) Institute of Nuclear Technics (NTI)
Prodán M. J.: On the Structural Integrity of Atomic Reactor Components (Vessels, Pipes, etc.)

Atomerőművek leszerelése

Die Entkernung eines Grossproblems

Wie man ein Atomkraftwerk zurückbaut – und was auf Mühleberg zukommt

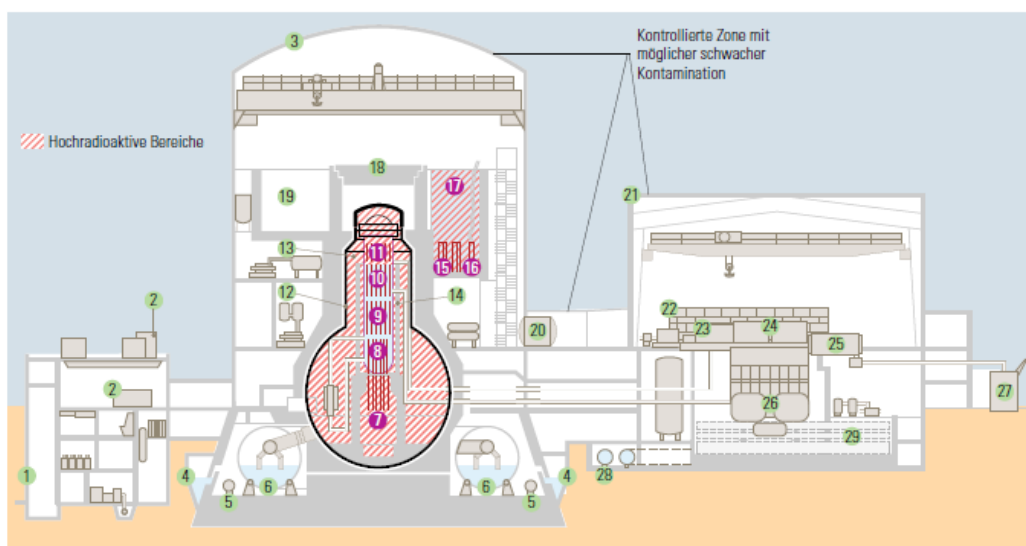
Ein AKW abzubauen, ist Pionierarbeit unter Extrembedingungen. Vorangegangen sind Techniker in Karlsruhe, die einen alten Forschungsreaktor zerlegen. Mühleberg muss sich auf jahrelange Schwerarbeit im Millimetertakt gefasst machen.

HELMUT STALDER, KARLSRUHE

Alle persönlichen Gegenstände abgeben, hinein in den weissen Overall, Spezialschuhe geschnürt, Schweißstuch auf den Kopf, Helm auf – und dann dieses Formular: Wer ins Reaktorgebäude will, muss zwar nicht gleich sein Testament machen. Aber man unterschreibt, dass man keine offenen Wunden hat, nicht schwanger ist, nichts essen und trinken wird, keine elektronischen Geräte mitführt, den Anweisungen des Personals unbedingt Folge leistet und sich voll bewusst ist, dass man sich in eine radioaktive Gefahrenzone begibt. Es ist dies der Mehrzweckforschungsreaktor (MZFR) auf dem Campus Nord des Karlsruher Instituts für Technologie. Der 1965 gebaute Schwerwasserreaktor mit 57 Megawatt Leistung produzierte Strom, versorgte den Campus mit Wärme und diente der Analyse von Werkstoffen und Bauelementen – ein Pionierwerk damals, nun ein Dinosaurier aus der Urzeit der Atomtechnologie.

Seit 1984 ist der Reaktor abgestellt – und ist damit unverhofft wieder zu einem Pionierwerk geworden. «Was es heisst, eine Atomanlage stillzulegen und

Zustand des AKW Mühleberg bei der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs



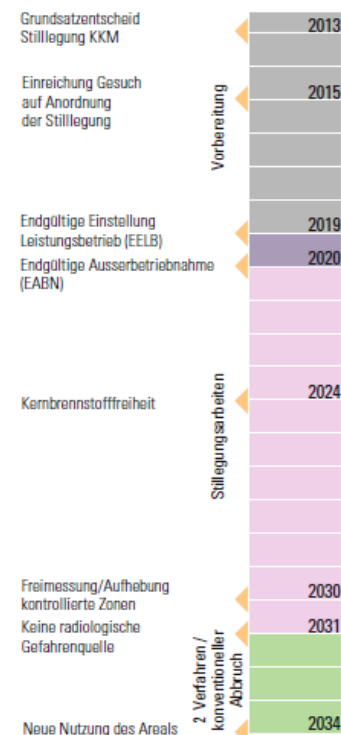
- 1 SUSAN-Gebäude (Abfuhr Nachzerfallswärme)
- 2 Notstromdieselanlagen
- 3 Reaktorgebäude (Sekundärcontainment)
- 4 Äusserer Torus (Notkühlung)
- 5 Noteinspeisesysteme / Systeme zur Abfuhr der Nachzerfallswärme
- 6 Innerer Torus
- 7 Steuerstabantriebe
- 8 Steuerstäbe
- 9 Brennelemente

- 10 Wasserabscheider
- 11 Dampftrockner
- 12 Drywell (Primärcontainment)
- 13 Reaktordruckbehälter
- 14 Biologischer Schild
- 15 Abgebrannte Brennelemente
- 16 Eintauchkühler
- 17 Brennelementlagerbecken
- 18 Betonriegel
- 19 Einbautenbecken

- 20 Personenschleuse
- 21 Maschinenhaus
- 22 Splitterschutzsteine
- 23 Hochdruckturbinen
- 24 Niederdruckturbinen
- 25 Generator
- 26 Kondensator
- 27 Blocktransformator
- 28 Hauptkühlwasserrücklauf
- 29 Abgassystem

QUELLE: BWK

Stilllegung und Abbruch im Zeitverlauf



NZZ-Infografik/cke.

Atomerőművek leszerelése

und ist damit unermesslich wieder zu einem Pionierwerk geworden. «Was es heisst, eine Atomanlage stillzulegen und auseinanderzubauen – organisatorisch, finanziell, regulatorisch, technisch und auch fürs Projektmanagement –, das alles wusste in den 1980er Jahren niemand», sagt Erwin Precht, Leiter Rückbau bei der deutschen Rückbau- und Entsorgungsgesellschaft WAK, welche die Atomeinrichtungen auf dem Campus betreibt. Inzwischen ist der MZFR weitgehend abgewrackt, ähnlich wie das AKW Würgassen und weiter als Stade und Obrigheim, wo gerade erst der Druckbehälter fertig zerlegt worden ist. «Wir sind Pioniere und haben zum Teil schmerzliche Erfahrungen machen müssen», sagt Precht. Für jeden einzelnen Arbeitsschritt musste erst die zweckmässige Methode gefunden werden, und oft mussten die Techniker Maschinen und Instrumente, die es dazu brauchte, erst selbst konstruieren und «kalts», also ohne radioaktive Belastung, erproben. Von diesen Erfahrungen sollen andere profitieren, sagt Precht. Deutschland will sämtliche acht AKW bis 2024 stilllegen und zurückbauen. In der Schweiz wird 2019 als erstes das AKW Mühleberg vom Netz gehen. Derzeit bereitet die Betreiberin BKW die Stilllegung vor (siehe Grafik).

Von innen nach aussen

Organisiert wurde die Presse-Exkursion vom Förderverein Schweizer Nuklearforum, um anschaulich zu machen, was in der Schweiz bald anläuft. Der Karlsruher Forschungsreaktor ist verglichen mit Mühleberg zwar ein Zwerg. Aber er komme von der Anordnung her recht nah an einen Leistungsreaktor heran, sagen die Pioniere. Der Rückbau soll 350 bis 400 Millionen Euro kosten und 15 Jahre dauern. Bei Mühleberg rechnet

QUELLE: BKW

weite Bau besteht nur noch aus seinem Gerippe, meterdicken Wänden, Säulen, Decken, Böden. Alle Leitungen und Installationen sind weg. «Eine Kernanlage muss man von innen nach aussen räumen», erklärt Anlageleiter Werner Süssdorf. Dann bleibt die Hülle intakt, und man kann alle Teile von den kleinsten Rohren bis zum Reaktordruckbehälter im Innern zerlegen, dekontaminieren, verpacken für den Transport ins Recycling oder in die Verglasungshalle auf dem Gelände bereit machen. Am schwierigsten war die Zerlegung des hochradioaktiven Reaktors und seines Inhalts. Das Herzstück mass 7,6 Meter in der Höhe und 4,6 Meter im Durchmesser und wog 400 Tonnen. Der Druckbehälter wurde mit 100 Kubikmeter Wasser geflutet, damit Neutronen und Staub gebunden wurden. Dann zerlegten die Arbeiter die Innereien mit einem fernbedienten Unterwasser-

schneidergerät per Videokamera und Joystick. Danach hoben sie das leere Druckgefäss auf einen Zerlegetisch und seziierten es nach einem genauen Schneideplan in 300 Kilo schwere Stücke, so dass die Endlagerbehälter platzsparend gefüllt werden konnten. Diese Arbeit dauerte von 1999 bis 2008. Danach waren 95 Prozent des radioaktiven Materials aus der Anlage entfernt.

Aber die verbliebenen 5 Prozent bedeuteten eine zweite Herkulesaufgabe, wie Süssdorf berichtet. Es galt, Bauteile herauszunehmen, die sich mit geringer Radioaktivität aufgeladen hatten, oder solche, die mit radioaktivem Staub kontaminiert waren. Der biologische Schild, ein 19 Meter hoher, ringförmiger, eisenarmer Betonmantel von 2 Metern Dicke um den Reaktor herum, war bis tief hinein radioaktiv geladen und gab Tritium ab. Zuerst musste die einen Zentimeter dicke Stahlauskleidung weg,

dann brauchte es schweres Gerät. In einem eigens konstruierten, drehbaren Hängegerüst liessen die Arbeiter einen modifizierten Abbruchbagger hinunter, der ferngesteuert mit einem Meissel den Beton einen Meter tief wegschlug und mit einem Schneidgerät Tausende von Armierungsstangen abtrennte. Die Armierungen musste man vom Beton lösen, mit Magneten aussortieren und wegbringen. 370 Tonnen radioaktiver Beton gingen durch einen Pulverisierer, wurden in Fässer und Container verpackt und abtransportiert. Diese Arbeit dauerte drei Jahre bis 2011.

150 000 Quadratmeter abtasten

Nach der Herkulesarbeit kam die Sisyphus-Arbeit, die immer noch andauert: die vollständige Dekontamination sämtlicher Baustrukturen und die radiologische Messung zur Freigabe. Beim Bau

vor 50 Jahren habe niemand an den Rückbau gedacht, sagt Süssdorf. Man habe sehr dicht gebaut, es gebe deshalb kaum Platz für die Dekontaminationsarbeiten. Und es sei auch keinem in den Sinn gekommen, die Installationen so zu verbauen, dass der Rückbau einfach wäre. «Wir haben sämtliche Rohre herausgenommen, in Stücke zersägt, aufgefäst, sandgestrahlt, gewaschen, kontrolliert und weggebracht», fasst er zusammen und deutet auf ein quadratisches Loch im Boden. «Hier ging ein Rohr durch. Weil wir mit dem Messgerät nicht hinkamen, um die Wandseite zu kontrollieren, haben wir das Loch aufgeschnitten.» Rohre öffnen und Durchlässe erweitern, das ist langwierige Handarbeit im Schutanzug – und eine Atomanlage hat viele Kilometer Rohre und viele hundert Rohrdurchlässe. Die Wände sind übersät mit Löchern. «Jeder einzelne Dübel wurde herausgebohrt, der Staub abgesaugt und kontrolliert, weil sich im Loch radioaktive Partikel befinden konnten», sagt Süssdorf. Aus demselben Grund mussten die Arbeiter auch die Schutzanstriche abfräsen. «Raten Sie mal, wie viele Quadratmeter Wände, Decken, Böden die Anlage hat? 150 000!»

Die gesamte Oberfläche ist in blau aufgespritzte Quadrate eingeteilt, und jedes Felder mit einer Nummer gekennzeichnet. Hunderte pro Raum, Zehntausende pro Etage. Ein Arbeiter tastet mit einem Messgerät eine Fläche ab, mit maximal 16 Zentimetern pro Sekunde, und kontrolliert, ob sich nicht doch noch irgendwo ein radioaktives Nuklid verbirgt. Zentimeter für Zentimeter, Fläche für Fläche. Erst wenn nachgewiesen ist, dass die ganze Anlage sauber ist, wird sie freigegeben und kann konven-

Rund neun Milliarden Franken fehlen noch

st. Insgesamt braucht es geschätzt 20,653 Milliarden Franken, um die fünf Schweizer AKW Mühleberg, Beznau I, Beznau II, Gösgen, Leibstadt und das Zwischenlager Zwiilag stillzulegen, abzubauen und alle Brennelemente und sonstigen radioaktiven Materialien zu entsorgen. Für die Phase gleich nach der Abschaltung, während deren die Brennstäbe gekühlt, verpackt und abtransportiert werden, ist mit Kosten von 1,709 Milliarden Franken zu rechnen. Die abschliessende Stilllegung der Werke dürfte weitere 2,974 Milliarden kosten. Und für die Entsorgung des Atomabfalls wird mit 15,970 Milliarden gerechnet. Diese

fonds liegen per Ende 1. Quartal 2016 rund 2 Milliarden Franken inklusive eines vom Bundesrat verfügen und noch bestrittenen Reservezuschlags. Im Entsorgungsfonds sind es rund 4,2 Milliarden Franken. 11,5 Milliarden sind also entweder bereits bezahlt oder in den zwei Fonds zurückgestellt. Das heisst auch: Um das Ende des Atomzeitalters zu finanzieren, fehlen rund 9 Milliarden Franken. Knapp 4 Milliarden müssen die Betreiber noch intern für die Phase des Nachbetriebs zurückstellen. Der Rest von gut 5 Milliarden Franken sind weiter geschuldete Fondsbeiträge und Erträge auf dem Fondskapital.

Fondsguthaben nicht reicht? Dann wird eine Haftungskaskade ausgelöst: Seine Beitragspflicht bleibt bis zum Ende der Stilllegung bestehen, er kann sich also nicht durch den frühen Ausstieg aus der Verantwortung verabschieden. Reicht sein Fondskapital nicht, muss er die verbliebenen Kosten aus eigenen Mitteln tragen. Kann er dies nicht, müssen die anderen Betreiber gemäss einer Solidarhaftung Geld in den Fonds einschiessen. Erst wenn dies für die übrigen Betreiber nicht tragbar ist, beschliesst das Parlament, ob und mit wie viel sich der Bund an den ungedeckten Kosten beteiligt.

Noch offen ist, was geschieht, wenn

NZZ-Infografik/cke

Atomerőművek leszerelése

UND IST DAMIT UNVERWUNDET WIEGERT zu einem Pionierwerk geworden. «Was es heisst, eine Atomanlage stillzulegen und auseinanderzubauen – organisatorisch, finanziell, regulatorisch, technisch und auch fürs Projektmanagement –, das alles wusste in den 1980er Jahren niemand», sagt Erwin Precht, Leiter Rückbau bei der deutschen Rückbau- und Entsorgungsgesellschaft WAK, welche die Atomkraftwerke auf dem Campus betreibt. Inzwischen ist der MZFR weitgehend abgewrackt, ähnlich wie das AKW Würgassen und weiter als Stade und Obrigheim, wo gerade erst der Druckbehälter fertig zerlegt worden ist. «Wir sind Pioniere und haben zum Teil schmerzliche Erfahrungen machen müssen», sagt Precht. Für jeden einzelnen Arbeitsschritt musste erst die zweckmässige Methode gefunden werden, und oft mussten die Techniker Maschinen und Instrumente, die es dazu brauchte, erst selbst konstruieren und «kalt», also ohne radioaktive Belastung, erproben. Von diesen Erfahrungen sollen andere profitieren, sagt Precht. Deutschland will sämtliche acht AKW bis 2024 stilllegen und zurückbauen. In der Schweiz wird 2019 als erstes das AKW Mühleberg vom Netz gehen. Derzeit bereitet die Betreiberin BKW die Stilllegung vor (siehe Grafik).

Von innen nach aussen

Organisiert wurde die Presse-Exkursion vom Förderverein Schweizer Nuklearforum, um anschaulich zu machen, was in der Schweiz bald anläuft. Der Karlsruher Forschungsreaktor ist verglichen mit Mühleberg zwar ein Zwerg. Aber er kommt von der Anordnung her recht nah an einen Leistungsreaktor heran, sagen die Pioniere. Der Rückbau soll 350 bis 400 Millionen Euro kosten und 15 Jahre dauern. Bei Mühleberg rechnet

QUELLE: BKW

weite Bau besteht nur noch aus seinem Gerippe, meterdicken Wänden, Säulen, Decken, Böden. Alle Leitungen und Installationen sind weg. «Eine Kernanlage muss man von innen nach aussen räumen», erklärt Anlageleiter Werner Süssdorf. Dann bleibt die Hülle intakt, und man kann alle Teile von den kleinsten Rohren bis zum Reaktordruckbehälter im Innern zerlegen, dekontaminieren, verpacken für den Transport ins Recycling oder in die Verglasungshalle auf dem Gelände bereit machen. Am schwierigsten war die Zerlegung des hochradioaktiven Reaktors und seines Inhalts. Das Herzstück mass 7,6 Meter in der Höhe und 4,6 Meter im Durchmesser und wog 400 Tonnen. Der Druckbehälter wurde mit 100 Kubikmeter Wasser geflutet, damit Neutronen und Staub gebunden wurden. Dann zerlegten die Arbeiter die Innereien mit einem fernbedienten Unterwasser-

schneidergerät per Videokamera und Joystick. Danach hoben sie das leere Druckgefäss auf einen Zerlegetisch und seziierten es nach einem genauen Schneideplan in 300 Kilo schwere Stücke, so dass die Endlagerbehälter platzsparend gefüllt werden konnten. Diese Arbeit dauerte von 1999 bis 2008. Danach waren 95 Prozent des radioaktiven Materials aus der Anlage entfernt.

Aber die verbliebenen 5 Prozent bedeuteten eine zweite Herkulesaufgabe, wie Süssdorf berichtet. Es galt, Bauteile herauszunehmen, die sich mit geringer Radioaktivität aufgeladen hatten, oder solche, die mit radioaktivem Staub kontaminiert waren. Der biologische Schild, ein 19 Meter hoher, ringförmiger, eisenarmer Betonmantel von 2 Metern Dicke um den Reaktor herum, war bis tief hinein radioaktiv geladen und gab Tritium ab. Zuerst musste die einen Zentimeter dicke Stahlauskleidung weg,

dann brauchte es schweres Gerät. In einem eigens konstruierten, drehbaren Hängegerüst liessen die Arbeiter einen modifizierten Abbruchbagger hinunter, der ferngesteuert mit einem Meissel den Beton einen Meter tief wegschlug und mit einem Schneidgerät Tausende von Armierungstangen abtrennte. Die Armierungen musste man vom Beton lösen, mit Magneten aussortieren und wegbringen. 370 Tonnen radioaktiver Beton gingen durch einen Pulverisierer, wurden in Fässer und Container verpackt und abtransportiert. Diese Arbeit dauerte drei Jahre bis 2011.

150 000 Quadratmeter abtasten

Nach der Herkulesarbeit kam die Sisyphus-Arbeit, die immer noch andauert: die vollständige Dekontamination sämtlicher Baustrukturen und die radiologische Messung zur Freigabe. Beim Bau

vor 50 Jahren habe niemand an den Rückbau gedacht, sagt Süssdorf. Man habe sehr dicht gebaut, es gebe deshalb kaum Platz für die Dekontaminationsarbeiten. Und es sei auch keinem in den Sinn gekommen, die Installationen so zu verbauen, dass der Rückbau einfach wäre. «Wir haben sämtliche Rohre herausgenommen, in Stücke zersägt, aufgefäst, sandgestrahlt, gewaschen, kontrolliert und weggebracht», fasst er zusammen und deutet auf ein quadratisches Loch im Boden. «Hier ging ein Rohr durch. Weil wir mit dem Messgerät nicht hinkamen, um die Wandseite zu kontrollieren, haben wir das Loch aufgeschnitten.» Rohre öffnen und Durchlässe erweitern, das ist langwierige Handarbeit im Schutzzanzug – und eine Atomanlage hat viele Kilometer Rohre und viele hundert Rohrdurchlässe. Die Wände sind übersät mit Löchern. «Jeder einzelne Dübel wurde herausgebohrt, der Staub abgesaugt und kontrolliert, weil sich im Loch radioaktive Partikel befinden konnten», sagt Süssdorf. Aus demselben Grund mussten die Arbeiter auch die Schutzanstriche abfräsen. «Raten Sie mal, wie viele Quadratmeter Wände, Decken, Böden die Anlage hat? 150 000!»

Die gesamte Oberfläche ist in blau aufgesprayschte Quadrate eingeteilt, und jedes Felder mit einer Nummer gekennzeichnet. Hunderte pro Raum, Zehntausende pro Etage. Ein Arbeiter tastet mit einem Messgerät eine Fläche ab, mit maximal 16 Zentimetern pro Sekunde, und kontrolliert, ob sich nicht doch noch irgendwo ein radioaktives Nuklid verbirgt. Zentimeter für Zentimeter, Fläche für Fläche. Erst wenn nachgewiesen ist, dass die ganze Anlage sauber ist, wird sie freigegeben und kann konven-

Rund neun Milliarden Franken fehlen noch

st. Insgesamt braucht es geschätzte 20,653 Milliarden Franken, um die fünf Schweizer AKW Mühleberg, Beznau I, Beznau II, Gösgen, Leibstadt und das Zwischenlager Zwiilag stillzulegen, abzubauen und alle Brennelemente und sonstigen radioaktiven Materialien zu entsorgen. Für die Phase gleich nach der Abschaltung, während deren die Brennstäbe gekühlt, verpackt und abtransportiert werden, ist mit Kosten von 1,709 Milliarden Franken zu rechnen. Die abschliessende Stilllegung der Werke dürfte weitere 2,974 Milliarden kosten. Und für die Entsorgung des Atomabfalls wird mit 15 970 Milliarden gerechnet. Diese

fonds liegen per Ende 1. Quartal 2016 rund 2 Milliarden Franken inklusive eines vom Bundesrat verfügt und noch bestrittenen Reservezuschlags. Im Entsorgungsfonds sind es rund 4,2 Milliarden Franken. 11,5 Milliarden sind also entweder bereits bezahlt oder in den zwei Fonds zurückgestellt. Das heisst auch: Um das Ende des Atomzeitalters zu finanzieren, fehlen rund 9 Milliarden Franken. Knapp 4 Milliarden müssen die Betreiber noch intern für die Phase des Nachbetriebs zurückstellen. Der Rest von gut 5 Milliarden Franken sind weiter geschuldete Fondsbeiträge und Erträge auf dem Fondskapital.

Fondsguthaben nicht reicht? Dann wird eine Haftungskaskade ausgelöst: Seine Beitragspflicht bleibt bis zum Ende der Stilllegung bestehen, er kann sich also nicht durch den frühen Ausstieg aus der Verantwortung verabschieden. Reicht sein Fondskapital nicht, muss er die verbliebenen Kosten aus eigenen Mitteln tragen. Kann er dies nicht, müssen die anderen Betreiber gemäss einer Solidarhaftung Geld in den Fonds einschiessen. Erst wenn dies für die übrigen Betreiber nicht tragbar ist, beschliesst das Parlament, ob und mit wie viel sich der Bund an den ungedeckten Kosten beteiligt.

Noch offen ist, was geschieht, wenn

Atomerőművek leszerelése

nen Arbeitsschritt musste erst die zweckmässige Methode gefunden werden, und oft mussten die Techniker Maschinen und Instrumente, die es dazu brauchte, erst selbst konstruieren und «kalt», also ohne radioaktive Belastung, erproben. Von diesen Erfahrungen sollen andere profitieren, sagt Precht. Deutschland will sämtliche acht AKW bis 2024 stilllegen und zurückbauen. In der Schweiz wird 2019 als erstes das AKW Mühleberg vom Netz gehen. Derzeit bereitet die Betreiberin BKW die Stilllegung vor (siehe Grafik).

Von innen nach aussen

Organisiert wurde die Presse-Exkursion vom Förderverein Schweizer Nuklearforum, um anschaulich zu machen, was in der Schweiz bald anläuft. Der Karlsruher Forschungsreaktor ist verglichen mit Mühleberg zwar ein Zwerg. Aber er kommt von der Anordnung her recht nah an einen Leistungsreaktor heran, sagen die Pioniere. Der Rückbau soll 350 bis 400 Millionen Euro kosten und 15 Jahre dauern. Bei Mühleberg rechnet die BKW mit reinen Stilllegungskosten von 490 Millionen Franken und will es ebenfalls in 15 Jahren schaffen.

Nun sind die Teilnehmer durch die dicke Stahltür ins Reaktorgebäude getreten, mit dem Lift in die fünfte Etage gefahren und finden sich in 20 Metern Höhe im ausgeweiteten Gehäuse wieder. Der 36 Meter hohe und 24 Meter

der Höhe und 4,6 Meter im Durchmesser und wog 400 Tonnen. Der Druckbehälter wurde mit 100 Kubikmeter Wasser geflutet, damit Neutronen und Staub gebunden wurden. Dann zerlegten die Arbeiter die Innereien mit einem fernbedienten Unterwasser-

taminiert waren. Der biologische Schild, ein 19 Meter hoher, ringförmiger, eisen-artermierter Betonmantel von 2 Metern Dicke um den Reaktor herum, war bis tief hinein radioaktiv geladen und gab Tritium ab. Zuerst musste die einen Zentimeter dicke Stahlauskleidung weg,

150 000 Quadratmeter abtasten

Nach der Herkulesarbeit kam die Sisyphus-Arbeit, die immer noch andauert: die vollständige Dekontamination sämtlicher Baustrukturen und die radiologische Messung zur Freigabe. Beim Bau

schnitten.» Rohre öffnen und Durchlässe erweitern, das ist langwierige Handarbeit im Schutzanzug – und eine Atomanlage hat viele Kilometer Rohre und viele hundert Rohrdurchlässe. Die Wände sind übersät mit Löchern. «Jeder einzelne Dübel wurde herausgebohrt, der Staub abgesaugt und kontrolliert, weil sich im Loch radioaktive Partikel befinden konnten», sagt Süssdorf. Aus demselben Grund mussten die Arbeiter auch die Schutzanstriche abfräsen. «Raten Sie mal, wie viele Quadratmeter Wände, Decken, Böden die Anlage hat? 150 000!»

Die gesamte Oberfläche ist in blau aufgesprayschte Quadrate eingeteilt, und jedes Felder mit einer Nummer gekennzeichnet. Hunderte pro Raum, Zehntausende pro Etage. Ein Arbeiter tastet mit einem Messgerät eine Fläche ab, mit maximal 16 Zentimetern pro Sekunde, und kontrolliert, ob sich nicht doch noch irgendwo ein radioaktives Nuklid verbirgt. Zentimeter für Zentimeter, Fläche für Fläche. Erst wenn nachgewiesen ist, dass die ganze Anlage sauber ist, wird sie freigegeben und kann konventionell abgerissen werden.

Die Besucher sind am Ausgang angelangt und steigen einzeln in die Schleuse. «Position einnehmen», sagt die Automatenstimme, und man steckt die Arme in Öffnungen an den Seiten. Dann zählt sie langsam hinunter. «20, 19, ..., 3, 2, 1.» Warten. «Keine Kontamination!» Erleichterung beim Ausstieg.

Rund neun Milliarden Franken fehlen noch

st. - Insgesamt braucht es geschätzte 20,653 Milliarden Franken, um die fünf Schweizer AKW Mühleberg, Beznau I, Beznau II, Gösgen, Leibstadt und das Zwischenlager Zwiilag stillzulegen, abzubauen und alle Brennelemente und sonstigen radioaktiven Materialien zu entsorgen. Für die Phase gleich nach der Abschaltung, während deren die Brennstäbe gekühlt, verpackt und abtransportiert werden, ist mit Kosten von 1,709 Milliarden Franken zu rechnen. Die anschliessende Stilllegung der Werke dürfte weitere 2,974 Milliarden kosten. Und für die Entsorgung des Atomabfalls wird mit 15,970 Milliarden gerechnet. Diese Schätzung datiert von 2011, die neue Kostenstudie soll Ende Jahr vorliegen.

Grundsätzlich müssen die Betreiber alle Kosten dieser nuklearen Abrüstung tragen. Bereits während des Betriebs bezahlten sie bis Ende 2014 rund 5,3 Milliarden direkt. Zudem müssen sie jährlich in den Stilllegungs- und den Entsorgungsfonds einzahlen. Im Stilllegungs-

fonds liegen per Ende 1. Quartal 2016 rund 2 Milliarden Franken inklusive eines vom Bundesrat verfügt und noch bestrittenen Reservezuschlags. Im Entsorgungsfonds sind es rund 4,2 Milliarden Franken. 11,5 Milliarden sind also entweder bereits bezahlt oder in den zwei Fonds zurückgestellt. Das heisst auch: Um das Ende des Atomzeitalters zu finanzieren, fehlen rund 9 Milliarden Franken. Knapp 4 Milliarden müssen die Betreiber noch intern für die Phase des Nachbetriebs zurückstellen. Der Rest von gut 5 Milliarden Franken sind weiter geschuldete Fondsbeiträge und Erträge auf dem Fondskapital.

Berechnet werden die jährlichen Beiträge aufgrund einer angenommenen Betriebsdauer der Werke von 50 Jahren. Die Betreiber gehen gar von einer technisch möglichen Laufzeit von 60 Jahren aus. Damit hätten sie noch etliche Jahre Zeit, um die Gelder aufzubringen.

Doch was geschieht, wenn ein Betreiber sein Werk früher abstellt und sein

Fondsguthaben nicht reicht? Dann wird eine Haftungskaskade ausgelöst: Seine Beitragspflicht bleibt bis zum Ende der Stilllegung bestehen, er kann sich also nicht durch den frühen Ausstieg aus der Verantwortung verabschieden. Reicht sein Fondskapital nicht, muss er die verbliebenen Kosten aus eigenen Mitteln tragen. Kann er dies nicht, müssen die andern Betreiber gemäss einer Solidarhaftung Geld in den Fonds einschiessen. Erst wenn dies für die übrigen Betreiber nicht tragbar ist, beschliesst das Parlament, ob und mit wie viel sich der Bund an den ungedeckten Kosten beteiligt.

Noch offen ist, was geschieht, wenn mit einem Ja zur Atomausstiegsinitiative die Laufzeit auf 45 Jahre gesenkt wird. Dann wären die Betreiber gezwungen, ihre Werke vor dem Ende der technischen Lebensdauer abzubauen, müssten aber die Fonds weiter speisen. Nach gängiger Lehre würde der Bund schadenersatzpflichtig und müsste die Beiträge übernehmen.

Atomerőművek leszerelése

- Quelle:
- Seite_13_Neue_Zürcher_Zeitung_2016-07-30

Atomerőművek leszerelése

KKW Beznau, Axpo (Svájc)



Cattenom (Franciaország)



Atomerőművek leszerelése

- Köszönöm a figyelmüket.