



Visualisierung: Marc Furrer

Ein Kernreaktor ist in jeder Hinsicht eine vielschichtige Sache, was dessen Rückbau so komplex macht.

Rückbau Kernreaktor

Eine anspruchsvolle Arbeit

Schweizer Kernkraftwerke sind ein Auslaufmodell, die Betreiber müssen diese sukzessive abschalten. Doch stillgelegt sind die massiven Anlagen damit noch lange nicht. Was es zur Erreichung dieses Ziels braucht und welche Verfahren sich für den nuklearen Rückbau eignen, hat Marc Furrer in seiner Bachelorarbeit analysiert.

Von Gabriel Diezi

Mit der Annahme des revidierten Energiegesetzes im Mai 2017 hat sich das Schweizer Stimmvolk für einen wohlgeordneten, pragmatischen Abschied von der Kernkraft entschieden. Die bestehenden fünf Kernreaktoren in Mühleberg, Beznau, Leibstadt und Gösgen dürfen nur noch so lange betrieben werden, wie sie sicher sind. Ob die Bedingungen für den sicheren Betrieb erfüllt sind, entscheidet das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat Ensi. Der Bau neuer Kernkraftwerke (KKW) ist zudem seit Anfang 2018 in der Schweiz

gesetzlich verboten, was letztlich zum schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie führen wird. Für die Stilllegung der KKW reicht es jedoch nicht aus, diese vom Netz zu nehmen: Die Abschaltung ist der Startschuss für einen jahre- bis jahrzehntelangen komplexen Rückbau der massiven Anlagen mit ihren meterdicken Stahlbetonwänden.

Aller Anfang ist schwer

Das wäre doch eine spannende Thematik für meine Bachelorarbeit an der Hochschule für

Technik Rapperswil (HSR), dachte sich der angehende Bauingenieur Marc Furrer vor zwei Jahren. «Mit dem Rückbau eines Kernreaktors wollte ich etwas mit hohem Praxisbezug untersuchen, was sonst niemand bearbeitet – und dies am besten möglichst gründlich.»

Für den gelernten Metallbaukonstrukteur verlief der Start in die Arbeit jedoch harzig. Bei seinen ersten Recherchen stiess Furrer zwar auf viele Dokumente zur Kernkraft. In diesen wurde jedoch nur oberflächlich auf den KKW-Rückbau eingegangen. «Wegen der enormen Sicherheits-

bestimmungen war der Zugang zu relevanten Unterlagen wie Plänen, Fotos oder Berichten stark limitiert», erzählt Furrer. Erschwerend sei hinzugekommen, dass die Unternehmen untereinander in einem starken Konkurrenzkampf stünden. «Aus Angst vor einem ungewollten Technologietransfer wurden die meisten Erfahrungen unter Verschluss gehalten», so Furrer weiter.

Nachdem er bei den KKW-Betreibern vergeblich angeklopft hatte, konnte Furrer schliesslich die Marti Infra AG als Projektpartnerin gewinnen. Das auf komplexe Projekte im Bereich Rückbau von Altlasten spezialisierte Unternehmen der Marti-Gruppe hatte bereits 2015 umfassende Erfahrungen im KKW Beznau gewonnen. Für den Tausch der beiden Reaktordeckel übernahm es die Planung und Ausführung der Arbeiten zum Öffnen und Schliessen des Containments. Auf offene Türen stiess Furrer zudem beim Paul-Scherrer-Institut (PSI), das ihm wertvolle Kontakte vermittelte und bereitwillig Einblick in die eigene Kerntechnikforschung gewährte, inklusive der gewonnenen Erkenntnissen aus dem Rückbau der Forschungsreaktoren Saphir und Diorit.

Multimedialer Ansatz mit Tiefgang

«Das war der Wendepunkt, von da an glaubte ich an den Erfolg meiner Bachelorarbeit», erinnert sich Furrer. Basierend auf der definitiven Stilllegung des KKW Mühleberg, die dessen Betreiberin BKW aus wirtschaftlichen Gründen inklusive Rückbaukonzept detailliert aufgelegt hatte (siehe «Der Fahrplan zur Stilllegung» auf Seite 9), analysierte er nun, inwiefern sich verschiedene Zerlege- und Montagetechniken für eine Anwendung an verstrahlten grossen Anlagekomponenten eignen. Auf Vor- und Nachteile durchleuchtete Furrer zudem auch mögliche Dekontaminationsverfahren, also Prozesse zur Entfernung radioaktiver Stoffe.

Furrer wollte gleichzeitig aber auch eine Bachelorarbeit schreiben, die selbst für Laien verständlich ist. Entsprechend tief tauchte er in die Grundlagen ein – von der Atomphysik über den Strahlenschutz bis zu den verschiedenen Funktionsprinzipien eines Kernreaktors. Dafür erstellte er auch unzählige anschauliche Abbildungen. «Mir war es ein Anliegen, den technischen Stand der Kernenergie wertfrei zu erklären. Der Leser soll sich seine eigene Meinung bilden können», betont Furrer.

LINKTIPP

Auf baublatt.ch/rueckbau sehen Sie den Film zur Bachelorarbeit.



Um dieses Ziel zu erreichen, produzierte der Perfektionist gar eine aufwendige filmische Zusammenfassung seiner Arbeit mit vielen dreidimensionalen Animationen (siehe baublatt.ch/rueckbau). Er sei sich bewusst gewesen, dass man sich wirklich sehr fürs Thema interessieren müsse, um eine 180-seitige Bachelorarbeit zu

lesen, erzählt Furrer. «Ich wollte meine Erkenntnisse aber einer breiteren Öffentlichkeit zeigen: Deshalb entstand der Film.»

Bewährte Verfahren sind ratsam

In den Schlussfolgerungen seiner Arbeit empfiehlt Furrer den KKW-Betreibern insbesondere, bei der



Bild: Gabriel Diezi

Ist der Hochschule für Technik Rapperswil treu geblieben: Nach dem letztjährigen erfolgreichen Bachelorabschluss als Bauingenieur absolviert Marc Furrer derzeit sein Master-Studium an der HSR.



Visualisierung: Marc Furrer

So präsentiert sich das Kernkraftwerk Mühleberg aus der Luft in der 3D-Modellierung von Marc Furrer.

Bilder: Marc Furrer



Flexibel und gängig: Das Sägen mittels kunststoffbeschichtetem Drahtseil mit eingelassenen Diamanten.



Automatisierbar und auch für den Einsatz unter Wasser geeignet: das Kreissägen von Beton und Metall.

Stilllegung ihrer Anlagen auf die Lancierung neuer Trenn- und Dekontaminationsverfahren zu verzichten. «Die dafür notwendigen kostenintensiven Eins-zu-eins-Versuche, sogenannte Mock-ups, verschlingen Millionen – bei vergleichsweise geringem Gewinn an neuen Erkenntnissen.» Für den bewährten Einsatz konventioneller Technik im nuklearen Rückbau würden zudem die im Ausland gesammelten Erfahrungen sprechen und die Tatsache, dass die Schweiz über fünf Leistungsreaktoren unterschiedlicher Bauart verfügt.

Wenn es darum geht, verstrahlte Anlageteile sicher zu demontieren und zu zerlegen, rät Furrer zur Anwendung mechanischer Verfahren. Diese würden sich durch eine geringe Aerosol- respektive Staubbildung auszeichnen. Gängig trotz geringer Schnittgeschwindigkeit seien insbesondere das Seil- oder Kreissägen, da man bei diesen bewährten Techniken von einem umfangreichen Zubehörsortiment profitiere. «Thermische Verfahren wie das Autogenbrennschneiden, bei dem die Heizflamme aus einem Acetylen-Sauer-

stoff-Gasgemisch besteht, sollte man primär dann anwenden, wenn stark aktivierte Teile aus sicherer Entfernung zu zerlegen sind», meint Furrer. Als sinnvoll erachtet er zudem deren Einsatz bei anspruchsvollen geometrischen Verhältnissen sowie unter Wasser.

Knackpunkt radioaktive Abfälle

Um radioaktiv verschmutzte Anlageteile effektiv zu dekontaminieren, empfiehlt sich gemäss Furrer eher eine mechanische Verfahrenskombination, die also zum Beispiel aus Spanen oder Abtragen und abschliessendem Reinigen besteht. «Der wichtigste Aspekt der Dekontamination ist die Minimierung der radioaktiven Abfälle», sagt Furrer. «Die kontaminierten Teile aber zu 100 Prozent säubern zu wollen, kann vor dem Hintergrund der dafür benötigten Ressourcen nie wirtschaftlich sein.»

Ein oft unterschätzter Kosten- und Bremsfaktor beim nuklearen Rückbau ist der Materialfluss. Eine Schlüsselrolle kommt dabei dem sogenannten Freimessen zu. Darunter fallen alle Verfahren auch administrativer Art, die darauf abzielen, Material aus dem Geltungsbereich der Strahlenschutzgesetzgebung zu entlassen. «Je mehr Material dem konventionellen Stoffkreislauf zugeführt werden kann, desto tiefer fallen letztlich die Entsorgungskosten aus», bringt es Furrer auf den Punkt. Gleichzeitig sei auch die Baustellenlogistik auf ein funktionierendes Freigabeverfahren angewiesen. «Wird mehr Material angeliefert als freigemessen werden kann, kommt es zu einem Rückstau in den Pufferzonen des Maschinenhauses. Sind dann die Lagerkapazitäten erschöpft, bremst sich der nukleare Rückbau selbst aus.»

Fehlende Planungssicherheit

Ein Unsicherheitsfaktor ist zudem, dass die geltenden Schweizer Gesetze, Verordnungen und Richtlinien bisher nur beim Rückbau von Forschungsreaktoren erprobt wurden (siehe separater Artikel «Der Atomreaktor im Kohlenkeller» auf Seite 10), aber noch nie bei der Stilllegung eines Leistungsreaktors. «Doch gerade hier führt das Ausmass einzelner Entscheide, wie die sich laufend verschärfende Rechtslage im Bereich des Strahlenschutzes, zu einem grossen Mass an Planungsunsicherheit. Und diese zieht wieder drastische Erhöhungen der Stilllegungskosten nach sich», sagt Furrer.

Einen potenziellen Knackpunkt ortet er deshalb insbesondere bei den fehlenden Fachleuten im Strahlenschutz. Aber eigentlich müssten die KKW-Betreiber sowieso nicht nur ihre bestehenden Mitarbeiter mittels angepasster Stellenbeschreibungen halten, sondern grundsätzlich neue

gut ausgebildete junge Leute rekrutieren, findet Furrer: «Denn wenn man bedenkt, dass die Stilllegung Jahrzehnte dauern wird, ist das Durchschnittsalter des KKW-Personals bereits hoch.»

Neue Ansätze gefragt

Bleibt zum Schluss noch die Frage zu klären, ob sich Furrers Einstellung zur Kernenergie

durch seine Bachelorarbeit verändert hat. «Ich kann noch immer nicht sagen, wie nachhaltig diese Energieform ist», sagt er. Dies zu beantworten, sei aber nach dem Volksentscheid zum revidierten Energiegesetz längst müssig. In der Schweiz müssten wir nun gezielt darauf hinarbeiten, nach der Stilllegung aller fünf Leistungsreaktoren die entsprechende 40-Prozent-

Lücke in der Energieversorgung schliessen zu können. «Ich bin offen für neue Ansätze, jedoch kein Fan von Stromimporten. Es wäre heuchlerisch einheimische Kernenergie durch ausländische zu ersetzen», betont Furrer. «Die grosse Herausforderung bleibt aber definitiv die noch immer ungelöste Tiefenlagerung der radioaktiven Abfälle.» ■

KKW Mühleberg

Der Fahrplan zur Stilllegung

Das 1972 in Betrieb genommene Kernkraftwerk auf dem Gebiet der Berner Gemeinde Mühleberg ist am Ende seiner Nutzungsdauer angelangt. Ende Jahr geht der Reaktor an der Aare vom Netz. Nach jahrelanger Planung wird damit erstmals ein Schweizer KKW stillgelegt und rückgebaut. Dies sind die Schritte bis 2034.

Am 20. Dezember 2019 kommt es zu einer Premiere in der Schweizer Energiewirtschaft. Die Berner BKW AG wird als erste Betreiberin hierzulande einen Atommeiler vom Netz nehmen und beim Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) den Leistungsbetrieb endgültig einstellen. Stilllegen ist jedoch mehr als nur abschalten. Es gilt im Anschluss nach heutiger Planung bis 2034 das KKM sicher rückzubauen – Schritt für Schritt, von innen nach aussen:

- **Ab 2020** startet die Vorbereitung des Rückbaus. Zuerst werden die radioaktiven Brennelemente vom Reaktor ins Brennelementlagerbecken verlagert, wo sie einige Jahre abklingen können. Voraussetzung dafür ist eine autarke redundante Kühlung, die eingerichtet wird. Mit der endgültigen Ausserbetriebnahme der Anlage startet dann der sogenannte technische Nachbetrieb.

- **Zwischen 2021 und 2024** werden die Brennelemente vom Lagerbecken gestaffelt ins zentrale Zwischenlager (Zwilag) in Würenlingen AG transportiert. Zu diesem Zeitpunkt sind 98 Prozent der Radioaktivität aus dem KKM entfernt. Gleichzeitig wird das Maschinenhaus geleert und für die Dekontamination und Behandlung der radioaktiv verunreinigten Materialien vorbereitet.

- **Zwischen 2025 und 2030** läuft der eigentliche nukleare Rückbau. Sämtliche noch verbliebenen Anlageteile, die mit Radioaktivität in Kontakt gekommen sind, werden demontiert und in der kontrollierten Zone mittels thermischer oder mechanischer Verfahren zerlegt. Stark radioaktive Anlageteile werden noch im Reaktorgebäude unter Wasser verkleinert und verpackt. Im Maschinenhaus werden die übrigen Komponenten zerlegt, sortiert, gereinigt und verpackt. Möglichst

viel des gereinigten Materials soll gemäss der BKW als normaler Abfall deponiert oder wiederverwendet werden. Die Betreiberin rechnet beim Rückbau des KKM mit lediglich zwei Prozent radioaktivem Abfall, der ins Zwilag verfrachtet werden muss. Ende 2030 soll das KKM dann frei von radioaktivem Material sein.

- **Im Jahr 2031** wird das ganze Areal von den Behörden kontrolliert. Können sie keine radiologischen Gefahrenquellen mehr feststellen, wird das Gelände anschliessend für eine neue Nutzung freigegeben.

- **Zwischen 2032 und 2034** werden die nicht mehr benötigten Gebäude auf dem KKM-Areal

konventionell rückgebaut. Der Umfang der Arbeiten ist abhängig davon, ob dieses industriell oder naturnah nachgenutzt wird. Der Bauschutt soll auf Deponien entsorgt oder wiederverwertet werden. Gemäss dem Fahrplan der BKW kann das KKM-Areal ab 2034 neu genutzt werden.

Basierend auf einer Kostenstudie aus dem Jahr 2016 betragen die Kosten für den Rückbau des KKM 550 Millionen Franken. Die Entsorgung wird mit 1,25 Milliarden Franken veranschlagt. Für beides zahlt die BKW vierteljährlich Gelder in den vom Bund kontrollierten Stilllegungs- und Entsorgungsfonds (Stenfo) ein. Da der Bund die Stenfo-Verzinsung senken möchte, dürfte die KKM-Betreiberin jedoch noch mehr Geld für die Stilllegung und Entsorgung beiseitelegen müssen. Die zusätzlichen Kosten für Nachbetrieb und Change Management werden sich gemäss BKW voraussichtlich auf 340 respektive 35 Millionen Franken belaufen. ■

Gabriel Diezi



Bald ist Schluss: Der Leistungsbetrieb beim Kernkraftwerk Mühleberg wird per Ende Jahr eingestellt.

Bild: BKW AG