

Die Strategie des schwedischen Rückbauprogramms von Uniper

Michael Bächler, Mikael Gustafsson

Uniper hat ein einzigartiges nukleares Rückbauprogramm in Schweden. Das Programm besteht aus vier Kraftwerksblöcken, zwei in Barsebäck und zwei in Oskarshamn. Die Blöcke haben eine unterschiedliche Geschichte und einen unterschiedlichen Hintergrund. Während die Blöcke in Barsebäck vor 15-20 Jahren außer Betrieb genommen wurden, wurden die Blöcke in Oskarshamn nach einer kurzen Vorbereitungszeit für den nuklearen Rückbau 2016–2018 außer Betrieb genommen.

Während der strategischen Planung wurden verschiedene Alternativen für den Rückbau hinsichtlich des Zeitplans und der Reihenfolge der Blöcke bewertet. Die gewählte Vorgehensweise besteht darin, alle vier Kraftwerksblöcke in einem Programm zusammenzufassen und die Arbeitspakete auf dem kritischen Pfad nacheinander für alle vier Blöcke sequenziell abzuarbeiten.

In dem Papier werden die Randbedingungen und Einflussfaktoren für die Strategie des Unternehmens Uniper im Bereich des nuklearen Rückbauprogramms sowie die Erkenntnisse, Schwerpunktbereiche und Erfolge erörtert, die uns in unserer Überzeugung bestärken, dass wir aus strategischer Sicht den richtigen Weg gewählt haben.

EINFÜHRUNG

Uniper ist ein internationales Energieunternehmen mit rund 11.000 Mitarbeitern. In Schweden betreibt Uniper eine Reihe von Anlagen, darunter CO₂-arme Wasserkraftwerke, und hält Beteiligungen an Kernkraftwerken. Uniper ist Mehrheitseigentümer und Betreiber des Kernkraftwerks (KKW) Oskarshamn und Minderheitseigentümer der KKW Ringhals und Forsmark. Uniper ist auch Eigentümer von Barsebäck sowie von Oskarshamn 1 und 2, den ersten kommerziellen KKW Schwedens, die inzwischen stillgelegt wurden.

Die KKW Barsebäck und Oskarshamn

Das Programm Nuclear Sweden von Uniper umfasst die Stilllegung von vier Reaktoren an zwei verschiedenen Standorten in Schweden, nämlich in Barsebäck und Oskarshamn. Alle vier Anlagen sind vom Typ Siedewasserreaktor (SWR) und wurden von ASSEA Atom gebaut.

Die Reaktoren Barsebäck 1, Barsebäck 2 und Oskarshamn 2 sind baugleich, während die Anlage Oskarshamn 1 eine frühere Generation darstellt. Am Kraftwerksstandort Oskarshamn gibt es einen weiteren Reaktor, Oskarshamn 3, der noch in Betrieb ist. Der Reaktor Oskarshamn 3 wird nach aktuellen Planungen frühestens 2045 stillgelegt.

Die Reaktoren in Barsebäck wurden 1999 bzw. 2005 aus politischen Gründen abgeschaltet und sind seitdem im Nachbetrieb, bis der Rückbau beschlossen wird. Die Abschaltung der beiden Reaktoren



NPP Barsebäck	
	<p>Owner: Uniper (100%) # of Units: 2 (B1+B2) Commercial Operation: 1975 / 1977 End-of-Operation: 1999 / 2005 Reactor Type: Boiling Water Reactors Gross Capacity [MW]: 615 / 615 Electricity produced [GWh]: 202,000 Location: Sweden</p>
NPP Oskarshamn	
	<p>Owner: Uniper (54,5%), Fortum (45,5%) # of Units: 2 of 3 (O1+O2) Commercial Operation: 1972 / 1974 End-of-Operation: 2017 / 2015 Reactor Type: Boiling Water Reactors Gross Capacity [MW]: 492 / 661 Electricity produced [GWh]: 263,000 Location: Sweden</p>

Abb. 1: Überblick über die abgeschalteten Blöcke der Kernkraftwerke Barsebäck und Oskarshamn

Oskarshamn 2 und Oskarshamn 1 wurde aus finanziellen Gründen beschlossen, die auf politische Entscheidungen im Zusammenhang mit der Besteuerung der Stromerzeugung aus Kernenergie zurückzuführen sind. Block 2 in Oskarshamn war zum Zeitpunkt des Abschaltbeschlusses im Jahr 2015 bereits wegen umfangreicher Modernisierungsarbeiten außer Betrieb und sollte Anfang 2016 wieder in Betrieb genommen werden. Oskarshamn 1 wurde 2017 abgeschaltet, was eine vorgezogene Entscheidung im Vergleich zum zuvor geplanten Abschalttermin 2023 war.

Dies bedeutete, dass in beiden Kernkraftwerken zwei völlig unterschiedliche Ausgangspositionen

bestanden, als Uniper mit der Strategiearbeit begann, wie die Stilllegung der vier Reaktoren durchgeführt und organisiert werden sollte.

Die Ausgangsposition von Barsebäck war ein langfristiger Servicebetrieb und eine erheblich reduzierte Organisation, die sich auf die Instandhaltung und die Zerlegung der Reaktoreinbauten im Rahmen eines „Turn-Key“-Vertrags konzentrierte. Oskarshamn befand sich inmitten in einer sehr umfangreichen Modernisierung von Oskarshamn 2, mit dem Schwerpunkt auf der Wiederinbetriebnahme im Jahr 2016 nach mehreren Jahren Stillstand. In Oskarshamn 1 plante ein kleines Team die Vorbereitung der Stilllegung von Oskarshamn 1 im Jahr 2023. In Oskarshamn wurde die Abschaltung vorgezogen und geschah damit weitgehend ungeplant. In den Jahren 2017-2019 wurde die Organisation in Oskarshamn aufgrund der Stilllegungsentscheidungen personell stark angepasst

Umfassende Unternehmensstrategieentwicklung und Zielsetzung

Im Jahr 2017 beschloss Uniper, eine Strategie für den Rückbau der vier Blöcke zu entwickeln, die das gesamte Spektrum der Möglichkeiten abdeckt, und ernannte daher ein Projektteam mit der Aufgabe:

- Entwicklung eines optimierten Stilllegungsszenarios
- Erstellung eines Geschäftsplans auf Arbeitspaketebene
- Erstellung eines Referenzzeitplans basierend auf den Arbeitspaketen
- Einbeziehung einer Beschaffungsstrategie
- Abschätzung der Auswirkungen auf die Ressourcen
- Durchführung einer Risikobewertung und Entwicklung eines Risikoregisters für die Stilllegung
- Durchführung von Kosten- und Sensitivitätsanalysen
- Erstellung eines Personalplans, einschließlich Strategien für das Hochfahren und Herunterfahren der Rückbauaktivitäten.

Das Ziel der Stilllegungsstrategie war es, „sicher“, „Regelwerk- und Genehmigungskonform“ und „innerhalb des Budgets“ den Rückbau der Anlagen zu realisieren. Alle anderen Einflussaspekte und Randbedingungen sollten an die reduzierten Anforderungen aus der Stilllegung und dem Rückbau angepasst werden.

Strategie der Stilllegung und gesammelte Erfahrungen

Die Randbedingungen für die Strategieentwicklung

von Uniper, die die Grundlage für die Kostenstruktur bilden, wurden in drei Hauptkategorien unterteilt:

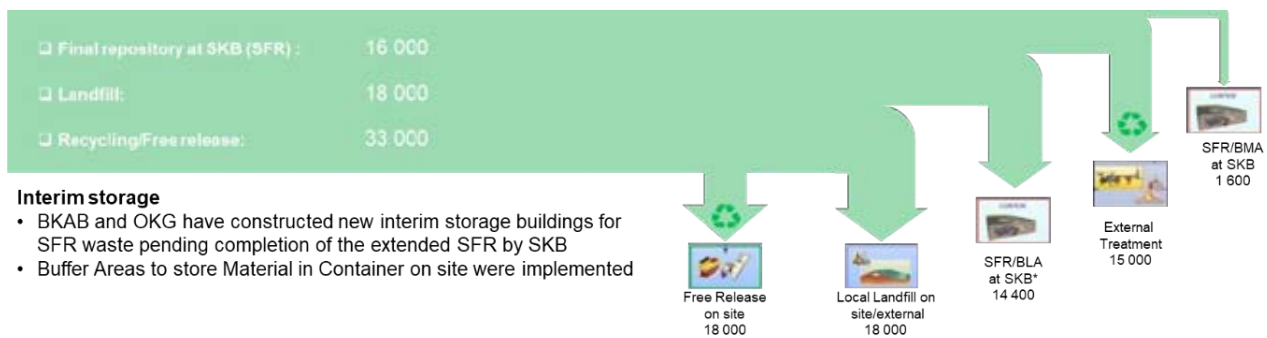
- Technik und Beschaffung/Markt
- Gesetzgebung und Genehmigungen
- Finanzierung

Standortspezifische Randbedingungen zu Beginn der Strategieentwicklung

In Barsebäck sind beide Reaktoren seit langem abgeschaltet, und es gibt keine anderen nuklearen Aktivitäten am Standort, was einen direkten Rückbau ohne Rücksicht auf andere Aktivitäten ermöglicht. Außerdem verfügt der Standort über eine gut ausgebaute Infrastruktur mit einem eigenen Hafen, der den Transport großer Komponenten per Seefracht ermöglicht. Die Reaktoren haben seit der Stilllegung drei bis vier Halbwertszeiten Co60 hinter sich und wurden einer vollständigen Systemdekontamination unterzogen so dass optimale radiologische Randbedingungen für den Rückbau gegeben waren. Der Kernbrennstoff aus Barsebäck wurde nach der Abschaltung zum zentralen Zwischenlager für Kernbrennstoffe in Schweden, der SKB/CLAB-Anlage, transportiert. Das Personal in Barsebäck wurde nach der Abschaltung reduziert und darauf eingestellt, nur noch Servicearbeiten durchzuführen. Im Jahr 2017, als die strategische Arbeit innerhalb von Uniper begann, bestand das Personal für den Restbetrieb der Nachbetriebsanlage aus etwa 50 Personen. Im Zusammenhang mit der Zerlegung der Reaktoreinbauten im Jahr 2016 wurde auch ein Zwischenlager für schwach- und mittelaktive Materialien und die Lagerung von Reaktortanks eingerichtet.

Das Kraftwerk Oskarshamn besteht aus drei Reaktoren, die alle dem Typ SWR angehören. Oskarshamn3 wurde 1986 in Betrieb genommen und Uniper beabsichtigt, diesen Reaktor bis mindestens 2045 weiter zu betreiben. Alle drei Reaktoren befinden sich in einem gemeinsamen physischen Schutzbereich. In den Gebäuden der Blöcke O1 und O2 sind eine Reihe gemeinsamer Versorgungssysteme installiert. Auch eine gemeinsame Abwasseranlage ist angeschlossen und wird von Block O1 aus betrieben. Der Standort Oskarshamn verfügt ebenfalls über einen gut funktionierenden Hafen.

Teile der gemeinsamen Einrichtungen am Standort werden mit der Produktionseinheit O3 geteilt, während in Barsebäck die gesamten Kosten für Einrichtungen am Standort wie z. B. für Sicherheit, Werkstätten und Facility Management aus dem Rückbaubudget zu finanzieren sind.



Wie die beiden Reaktoren von Barsebäck werden auch Oskarshamn 1 und 2 einer vollständigen Systemdekontamination unterzogen.

Die SKB/CLAB-Anlage für abgebrannte Brennelemente befindet sich am selben Standort wie das Kraftwerk Oskarshamn, was den Transport aller Brennelemente innerhalb von eineinhalb Jahren nach der Abschaltung der beiden Reaktoren ermöglicht hat.

Schwedisches Backend-System

Die schwedischen Back-End-Systeme befinden sich noch in der Konzeptionsphase und das Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle aus der Stilllegung wird voraussichtlich 2030 für schwach- bzw. 2045 für mittelaktive Abfälle in Betrieb sein. Dies bedeutet, dass die beiden Standorte für die Zwischenlagerung von schwach- und mittelaktiven Abfällen sorgen müssen, bis ein Endlager zur Verfügung steht. Beide Standorte haben in Zwischenlösungen für die direkte Stilllegung investiert und diese errichtet. In Oskarshamn gibt es ein bestehendes unterirdisches Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (RDB Einbauten und RDB), das bis zur Abschaltung von Block 3 und der endgültigen Stilllegung des Standorts in Betrieb sein wird.

In Barsebäck wird der schwach- und mittelaktive Abfall bis 2045 verbleiben und damit die Möglichkeit blockieren, den Endzustand eines so genannten braunen Feldes in den Jahren 2030-2032 zu erreichen, d. h. den Standort „nicht-nuklear“ zu machen, es ist angestrebt eine externe Lösung für diese Abfälle an einem anderen Standort zu ermöglichen. Zwischenlagerungslösungen minimieren die Auswirkungen von Verzögerungen bei den Endlagerprojekten und schaffen ein höheres Maß an Flexibilität in dem Rückbauprogramm.

Das Entsorgungs- und Abfallbehandlungskonzept für den Rückbau der Anlagen beruht weitgehend auf einem „Rip-and-Ship“-Konzept, das auch den

Transport großer Komponenten ermöglicht. Die folgenden Entsorgungswege stehen für das Programm zur Verfügung. Die Auswahl erfolgt auf der Grundlage der spezifischen Kosten und des verfügbaren Lagervolumens und der Bearbeitungskapazität.

Beschaffungs- und Marktbedingungen

Für eine größere Anzahl von Kernkraftwerken in Schweden ist in den kommenden Jahren der Rückbau geplant. Eine Randbedingung bzw. ein Einflussfaktor war die Möglichkeit auf dem schwedischen Rückbaumarkt eine Vorreiterrolle einzunehmen. Als Erster auf dem Markt zu sein, brachte eine Reihe von Vorteilen zur Kostensenkung mit sich.

Gesetzgebung und Genehmigungen

Die behördlichen Anforderungen in Bezug auf die nukleare Entsorgung waren zum Zeitpunkt der Strategieentwicklung neu erlassen worden und bedurften Interpretationen hinsichtlich der Anforderungen an den Rückbau, die Dokumentation und die Handhabung von Rückbauabfällen. Dieses Risiko wurde bei der Entscheidung über den Rückbauansatz und bei der Risikoanalyse der verschiedenen entwickelten Szenarien sorgfältig bewertet.

Zusätzlich zu den neuen Vorschriften sind die Abfallannahmekriterien (waste acceptance criteria = WAC) für das schwedische Back-End-System (SFR – Final Repository for Short-lived Radioactive Waste) noch in der Vorphase, was an sich schon eine Unsicherheit darstellt. Die endgültige Genehmigung der WAC erfolgt nach dem Testbetrieb des Endlagers, der voraussichtlich frühestens 2029/2030 abgeschlossen sein wird. Die Zusammenarbeit zwischen der Aufsichtsbehörde und anderen Behörden wie Regionalbehörden und Kommunen basiert in Schweden weitgehend auf Vertrauen und einem pragmatischen Ansatz zur Lösung von Problemen im Zusammenhang mit den erforderlichen Genehmigungen und Zulassungen.

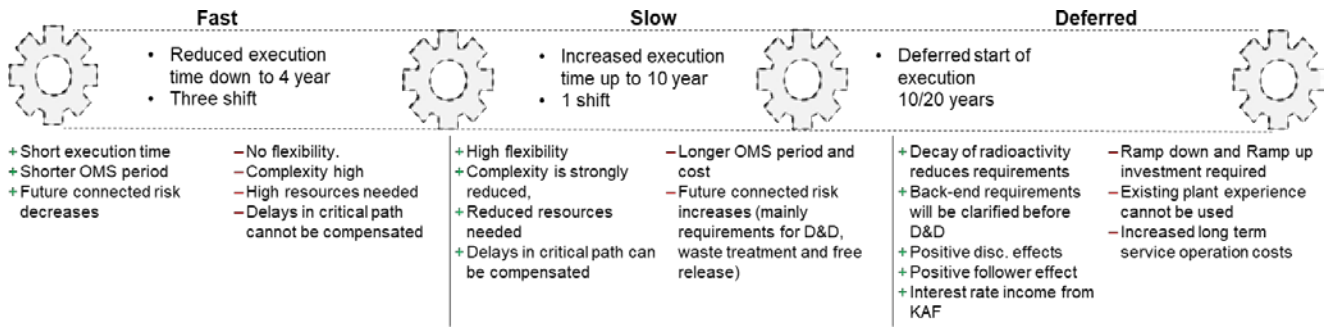


Abb. 3: Zusammenfassung der Einflussfaktoren.

Einflussfaktoren und Auswahl des Szenarios

In Schweden ist die Stilllegung gesetzlich vorgeschrieben und die Genehmigungsinhaber sind für die Finanzierung (Rückstellungsfond KAF), die Planung und die Durchführung verantwortlich, so dass die einzigen beeinflussbaren Faktoren der „Startzeitpunkt“, die „Ausführungsdauer“ und das Ausmaß des „Portfolio-Ansatzes“ sind, der im Falle von Mehrblockstandorten/Programmen genutzt werden kann. Der KAF ist der vom schwedischen Staat kontrollierte Fonds für die Stilllegung von Kernkraftwerken.

Der Uniper-Portfolio-Ansatz mit vier Einheiten (drei fast identische) bietet einzigartige Lernkurven und Möglichkeiten zur Kostensenkung. Nachfolgend sind einige der Vorteile aufgeführt, die sich aus der Anwendung des Portfolio-Ansatzes ergeben:

- Lernkurveneffekte zwischen den Arbeitspaketen in den verschiedenen Einheiten. Übertragung von Erfahrungen und Lehren von einer Einheit auf die nächste.
- Synergien bei der Planung, den Arbeitsvorbereitungen und den Werkzeugen, z. B. die Möglichkeit, „einmal zu planen, viermal auszuführen“.
- Skalierungseffekt durch die Beschaffung größerer Mengen, Beispiele:
 - ein Auftrag für vier ähnliche Arbeitspakete
 - gemeinsame Abfallsortier-/Verpackungsstationen für Abfallgebinde

- Schlanke Organisation durch Anwendung von Portfoliosteuerung und -implementierung mit gemeinsamem Projektmanagement Office, Arbeitspaketleitern etc.

Bewertung von Stilllegungsszenarien

In der Strategiephase 2018 wurden verschiedene Szenarien anhand von definierten, spezifischen Randbedingungen und Einflussfaktoren bewertet. Das richtige Gleichgewicht zwischen Sicherheit, Qualität, Kosten und Ressourcen zu finden, ist entscheidend, um ein optimales Ergebnis und die Unternehmensstrategie zu erreichen.

Die Haupteinflussfaktoren „Startpunkt“ und „Ausführungszeit“ führen zu den folgenden drei Szenarien, „Sequence“, „Stretched“- und „Long term service operation (LTSO)“ (Abb. 4).

Die von Uniper durchgeführte Evaluierung unter Anwendung eines „Best-for-Company“-Ansatzes lieferte eine Strategie, die auf einem „Sequence-Szenario“ basiert, das in einem gemeinsamen Programm zur Optimierung der Portfoliovorteile mit einem realistischen Hochlauftempo und einem optimierten Personal- und Abfallvolumen-/Flussplan ausgeführt wird.

Benchmark zeigt niedriges Kostenniveau

Eine internationale Kosten-Benchmark-Studie zeigt, dass das Uniper-Rückbauprogramm auf der Basis des

Sequence scenario	Stretched scenario	LTSO scenario
<ul style="list-style-type: none"> • Immediate start • Parallel execution, Work package executed in sequence following lead and learn approach • Site overarching portfolio • 8.5 years execution 	<ul style="list-style-type: none"> • Immediate start • Reduced project complexity by extended schedule (approx. 10.5 years) • Small WP, in a site overarching portfolio 	<ul style="list-style-type: none"> • Deferred start of execution 10/20 years • D&D execution as in sequence scenario

Abb. 4: Bandbreite der bewerteten Szenarien.

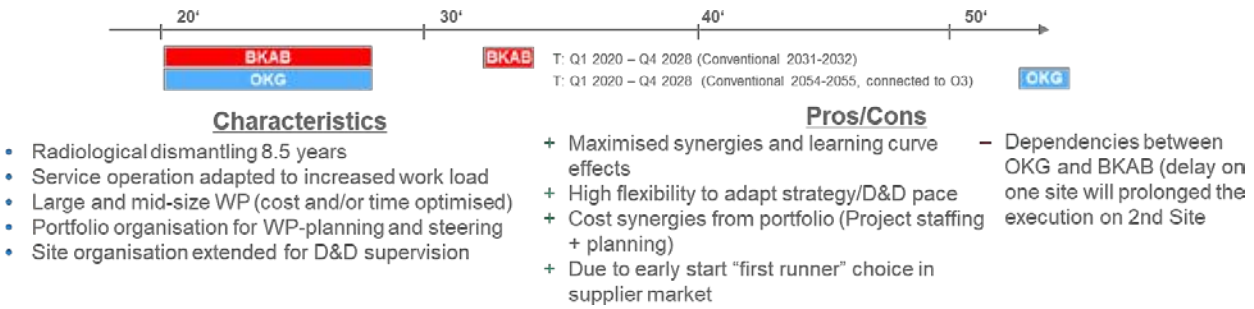


Abb. 5: Zusammenfassung der Einflussfaktoren.

Sequenzszenarios, ausgeführt in einem Portfolio-Ansatz, auch im unteren Bereich der Gesamtkosten für SWR liegt und in allen Bereichen, wie z. B. Rückbau, Abfall, Infrastruktur, PMO und Engineering, unter den für SWR üblichen Kosten liegt (Abb.: 6).

Aktueller Stand und Key Performance Indicators (KPIs)

Nachfolgend werden KPIs vorgestellt, die den aktuellen Stand der Kosten und der Leistung sowie den Lernkurveneffekt aufzeigen. Insgesamt wurden in den ersten zwei Jahren mehr als 12 000 Mg in allen vier Einheiten abgebaut, was nur eine geringe Abweichung von weniger als 10 % im Vergleich zum Plan darstellt. Es sollte auch darauf hingewiesen werden, dass dies hauptsächlich während der Covid-Pandemiebedingungen erreicht wurde. Die tatsächlichen Gesamtkosten zeigen, dass das Programm seit der Strategieentscheidung im

Jahr 2018 immer noch innerhalb des Budgets liegt. Die Durchführung der ersten Arbeitspakete zeigt eine deutlich positive Auswirkung auf den Lernkurveneffekt.

SCHLUSSFOLGERUNG

Nach drei Jahren Stilllegungsarbeiten seit der Strategieentscheidung können wir feststellen, dass das Programm immer noch innerhalb des Budgets und des Zeitplans liegt (mit Ausnahme einiger Abweichungen bei nicht zeitkritischen Aktivitäten). Außerdem können wir heute einen erheblichen Nutzen aus unserem Lead-and-Learn-Ansatz ziehen, insbesondere bei Arbeitspaketen wie der Zerlegung von RDB, der Zerlegung von Turbinen und Generatoren sowie der Demontage von Kondensatoren.

Der First-Mover-Ansatz in einem neuen Rückbaumarkt hat sowohl Vorteile, wie z. B. die

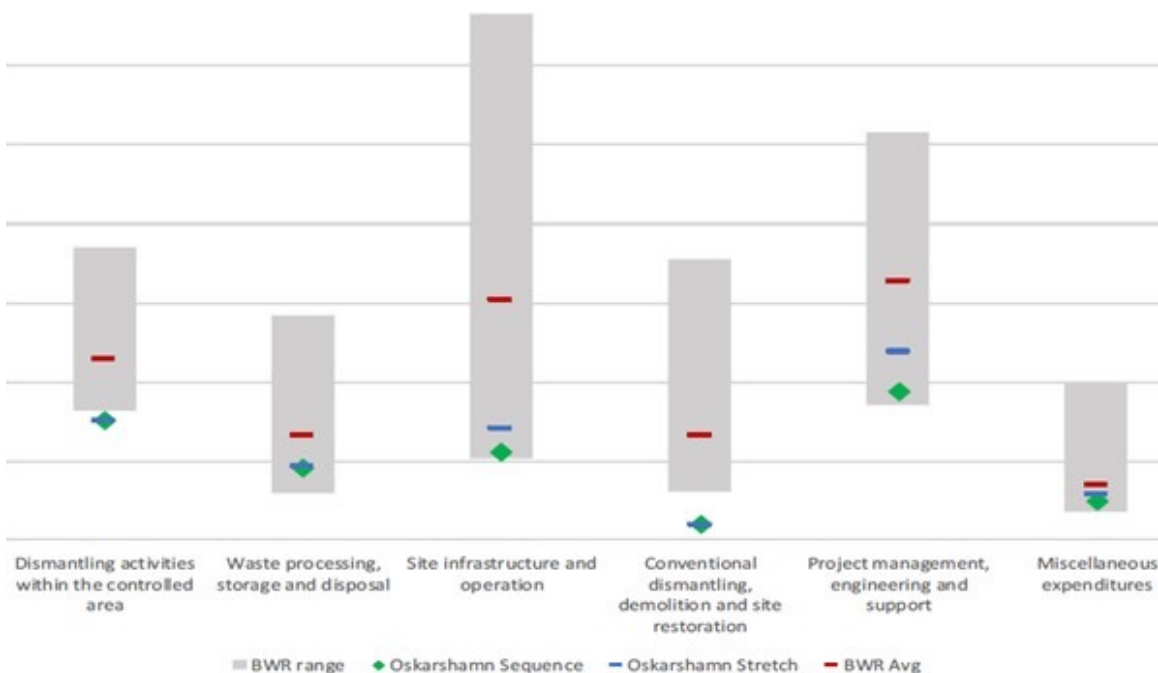


Abb. 6: Internationaler Kostenvergleich.

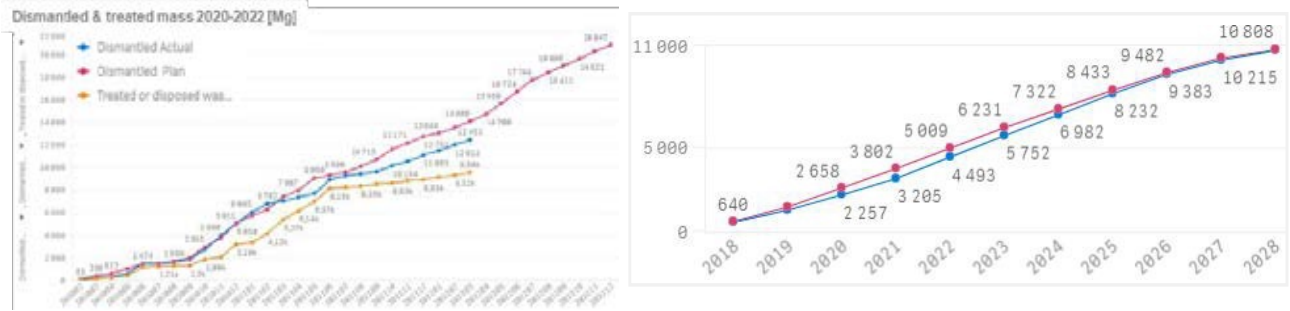
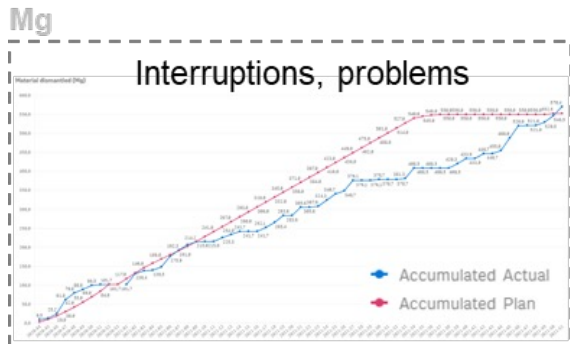


Abb. 7: Gesamtmasse des tatsächlich demontierten Materials und tatsächliche Kosten im Vergleich zum Plan.

Marktsituation, als auch Nachteile, wie z. B. den nicht zu vernachlässigenden Aufwand für den Aufbau von Erfahrungen sowohl intern als auch extern, z. B. bei Dienstleistern, Subunternehmern und bei der Regulierungsbehörde.

Die für das schwedische Rückbauprogramm von Uniper gewählte Strategie hat sich in den ersten zwei Jahren der Erfahrung mit dem Rückbau in großem Maßstab als erfolgreich erwiesen.

First unit(s) Dismantled material



First unit(s) Dismantled material

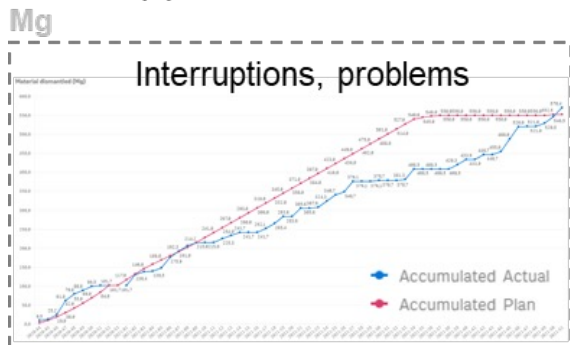


Abb. 8: Lernkurveneffekt für die Segmentierung des RDB bei den Einheiten B1 und B2

Authors



Michael Bächler
Senior Vice President Nuclear Decommissioning and Dismantling Services und Managing Director, Uniper Nuclear Services (USA)

michael.baechler@swe.uniper.energy

Michael Bächler startete seine Karriere als Project Manager bei der Firma Babcock-Noell und war dort zuletzt Abteilungsleiter innerhalb von „Nuclear Services and Nuclear Decommissioning“. 2003 wechselte er zur E.ON Kernkraft, wo er in verschiedenen Positionen und Funktionen bis 2015 beschäftigt war, zuletzt als „Head of Nuclear Decommissioning Projects“. Es folgte eine Beschäftigung als Senior Engineer im Kernkraftwerk Brunsbüttel bei Vattenfall Europe Nuclear Energy. Seit 2016 ist er bei UNIPER Nuclear Services und dort sowohl Geschäftsführer der deutschen als auch der schwedischen Entity als auch Senior Vice President Nuclear Decommissioning and Dismantling Services (UNS), verantwortlich für das komplette UNIPER Decommissioning Portfolio. Zusätzlich ist Herr Bächler Mitglied der schwedischen Delegation innerhalb der OECD Nuclear Energy Agency, der WANO Working Group sowie der IAEA Consultancy Working Group.



Mikael Gustafsson
Head of PCQA Nuclear D&D
Sydkraft Nuclear Power AB
Uniper

mikael.gustafsson3@swe.uniper.energy

Mikael Gustafsson begann seine berufliche Laufbahn als Projektleiter für große Leittechnik- und Sicherheits-Upgrade-Projekte bei Westinghouse Electric Sweden. Im Jahr 2006 wechselte er zu OKG AB (Betreiber von KKW in Oskarshamn, Schweden) und war dort an verschiedenen Großprojekten beteiligt, z. B. an der Sicherheitsnachrüstung und Leistungserhöhung von Block 2. Im Jahr 2016 wechselte er zu Sydkraft Nuclear Power AB (Teil der Uniper-Gruppe), um sich dem Team für die Entwicklung der Stilllegungsstrategieplanung für die Blöcke O1 und O2 bei OKG AB sowie B1 und B2 bei BKAB anzuschließen. Heute ist er Mitglied des OKG- und BKAB-Programmmanagementteams und des Uniper Nuclear D&D Managementteams als Leiter des PCQA (Performance Center and Quality Assurance).