

# Brennstoff und Entsorgung III Rückbau von Kernanlagen

Übersicht zur Rückbauplanung und  
Vorgehensweise in der Schweiz

Grundlagenseminar SGK Oktober 2018, Magglingen



Dr. Anton von Gunten



**VGA**  
.expert  
Dienstleistungen für  
die Nuklearindustrie  
VGA.expert GmbH

# Inhalt

1. Energiestrategie 2050
2. Festlegen des Zeitpunkts der Ausserbetriebnahme
3. Stilllegungen weltweit
4. Rechtlicher Rahmen der Stilllegung in der Schweiz
5. Das Stilllegungsprojekt
6. Die Stilllegungsverfügung
7. Optimierung von Nachbetrieb und Rückbau
8. Organisation eines Stilllegungsprojekts
9. Behandlung und Verbleib der anfallenden Materialien
10. Finanzierung der Stilllegung
11. Erfolgsfaktoren für die Stilllegung

**Für die Stilllegung sind nebst Mensch und Technik wesentlich auch Finanzen und Politik von Bedeutung.**

# Energiestrategie 2050

## Abstimmung zum Energiegesetz



Am 21. Mai 2017 hat das Stimmvolk das revidierte Energiegesetz mit einer Mehrheit von 58.2% angenommen.

Quelle UVEK Energiestrategie 2050: Abstimmung zum Energiegesetz.

### Wesentliche Inhalte des revidierten Energiegesetzes:

- Am 1.1.2018 ist das revidierte Energiegesetz in Kraft treten.
- Es dient dazu, den Energieverbrauch zu senken, die Energieeffizienz zu erhöhen und die erneuerbaren Energien zu fördern.
- Zudem wird der Bau neuer Kernkraftwerke verboten.
- Die Schweiz kann so die Abhängigkeit von importierten fossilen Energien reduzieren und die einheimischen erneuerbaren Energien stärken.
- Das schafft Arbeitsplätze und Investitionen in der Schweiz.

**Neue Kernkraftwerke gibt es nicht mehr, bestehende bleiben am Netz so lange ihre Sicherheit gewährleistet ist. Maximale Betriebsdauern oder feste Abschaltzeitpunkte sind nicht festgelegt.**

# Festlegen des Zeitpunkts der Ausserbetriebnahme

kommt für jede Kernanlage – sicherer Betrieb ist gefordert bis zum Schluss



Für eine neue Kernanlage wäre ein Stilllegungskonzept bereits als Bestandteil des Rahmenbewilligungsgesuchs erforderlich und Aspekte der Stilllegung wären in der Auslegung der Anlage zu berücksichtigen.

Quelle Bild Resun AG (liquidiert)

## *Eine Ausserbetriebnahme erfolgt, wenn*

- die Sicherheit nicht mehr gewährleistet ist;
- Investitionen anstehen, die der Betreiber nicht mehr finanzieren will;
- Gewinn bringender Betrieb langfristig nicht mehr möglich scheint;
- die Politik eine Abschaltung fordert bzw. zur Begrenzung politischer Unsicherheiten.

## *Erforderlich ist in jedem Fall*

- eine geordnete Abschaltung mit ausreichend Vorbereitungszeit;
- der sichere Betrieb bis zur endgültigen Ausserbetriebnahme;
- anschliessend der effiziente Rückbau;
- zur Mitwirkung beim Rückbau motivierte, sicherheitsbewusste Mitarbeitende;
- eine Anpassung der Organisation.

**Das Spannungsfeld zwischen Anlagebetrieb und Rückbauprojekt muss überwunden werden.**

# Stilllegungen weltweit

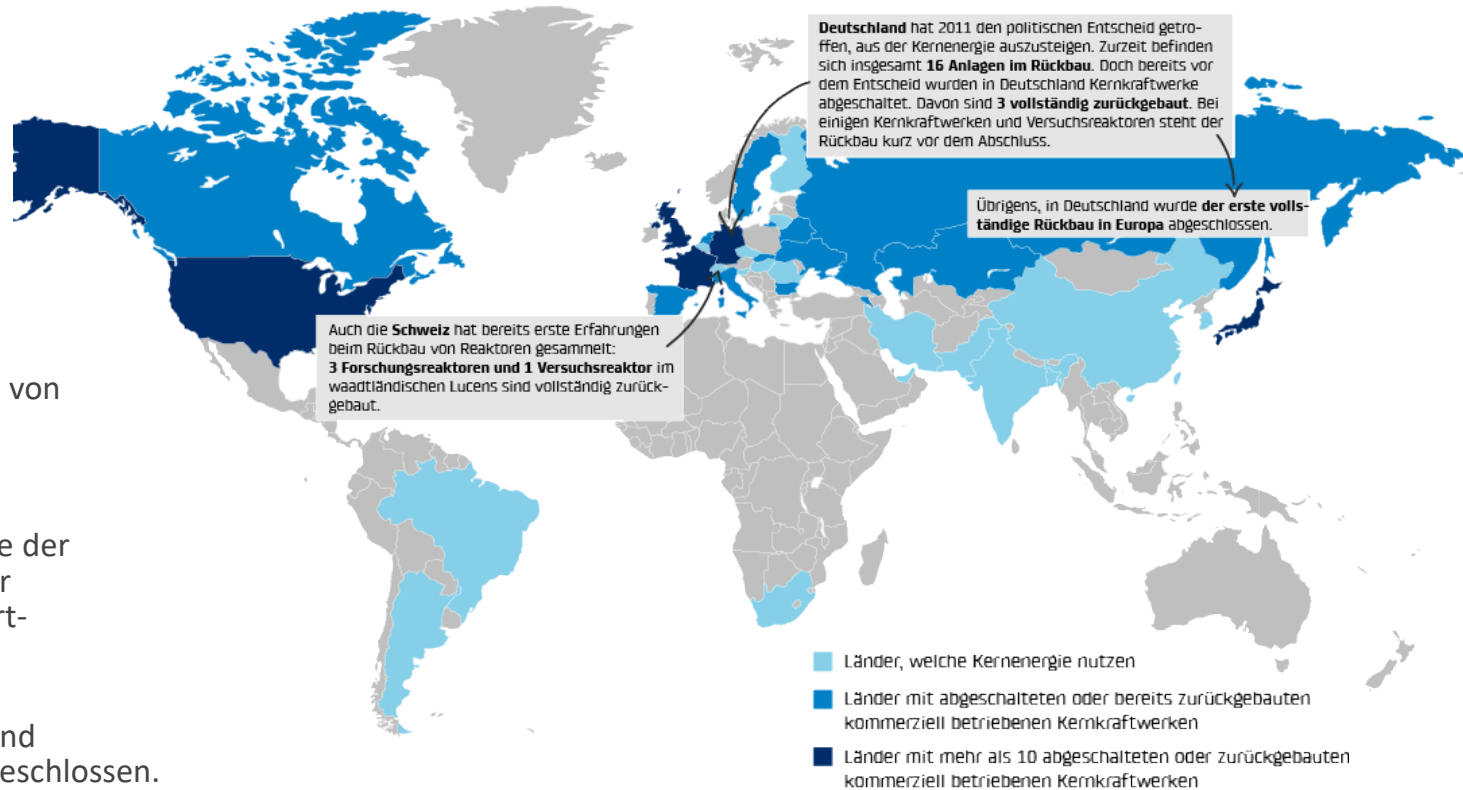
Die zivilen Kernkraftwerke der Welt in 31 Ländern – ein Überblick zur Stilllegung

453 kommerzielle  
Reaktoren sind  
weltweit in  
Betrieb,  
57 im Bau und  
weitere geplant.

166 Reaktoren sind  
bereits  
stillgelegt;

- 12 aufgrund von Havarie,
- 37 politisch bedingt,
- 117 am Ende der Lebensdauer oder aus wirtschaftlichen Gründen.

17 Stilllegungen sind  
vollständig abgeschlossen.



Quelle World Nuclear Association, Decommissioning Nuclear Facilities (March 2018); Bild BKW, Broschüre Stilllegung international.

**Stilllegung ist eine weit verbreitete Angelegenheit, international gibt es sehr viel Erfahrung.  
Für die Schweiz gilt es diese zu nutzen.**

# Rechtlicher Rahmen der Stilllegung in der Schweiz

Gesetzliche Regelung und Bewilligungssituation gemäss Kernenergiegesetz (KEG)

## Die Stilllegung wird verfügt ...

- Eine geplante EELB hat der Betreiber der Aufsichtsbehörde zu melden<sup>1</sup>. Eine frühzeitige Mitteilung bringt Planungssicherheit.
- Nach EELB ist der Nachbetrieb zu etablieren. Die dazu erforderlichen Massnahmen werden von der Aufsichtsbehörde verfügt<sup>2</sup>.
- Mit Abschluss der Etablierung des Nachbetriebs gilt die Anlage endgültig als ausser Betrieb genommen und damit erlischt die Betriebsbewilligung<sup>3</sup>.
- Mit der EABN wird die Anlage stilllegungspflichtig<sup>4</sup> und es ist ein Stilllegungsprojekt einzureichen<sup>5</sup>.
- Darauf basiert die vom Uvek verfügte Stilllegung, welche die Stilllegungsarbeiten anordnet und festlegt, welche Arbeiten freigabepflichtig sind<sup>6</sup>.
- Bis zum Inkrafttreten der Stilllegungsverfügung bleiben die nach EABN zur Sicherheit erforderlichen Bestimmungen der Betriebsbewilligung gültig<sup>7</sup>.
- Bis dahin dauert der Nachbetrieb an.



EELB endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs

EABN endgültige Ausserbetriebnahme

Quelle Nuklearforum Schweiz, Vertiefungskurs 2013, Herausforderungen beim Betriebsende von Kernkraftwerken, «Anforderungen an eine sichere und wirtschaftliche Stilllegung aus Sicht eines Betreibers», aktualisiert.

<sup>1</sup>Art. 38 Abs. 1 Bst. a KEG.

<sup>2</sup>Art. 72 Abs. 3 KEG.

<sup>3</sup>Vgl. BFE Aktennotiz 2.9.2015

<sup>4</sup>Art. 26 Abs. 1 Bst. a KEG.

<sup>5</sup>Art. 27 KEG.

<sup>6</sup>Art. 28 KEG.

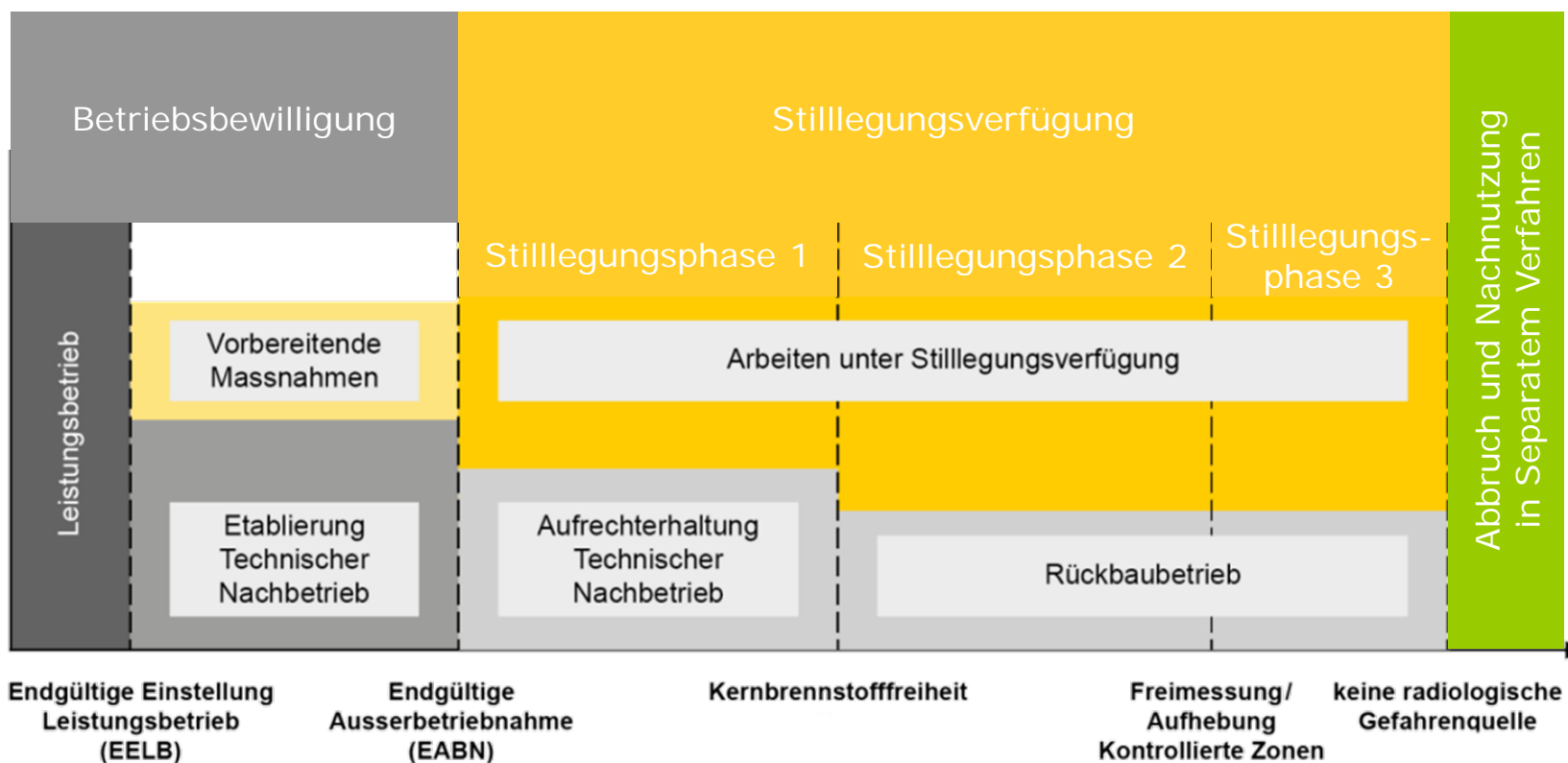
<sup>7</sup>Art. 69 Abs. 1 KEG.

«Verfahren Stilllegung KKM – Konzeption EABN».

Mit der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs erwächst die Pflicht zur Stilllegung. Die Stilllegungsarbeiten werden verfügt.

# Rechtlicher Rahmen der Stilllegung in der Schweiz

Stilllegungsphasen am Beispiel des Stilllegungsprojekts für das KKM

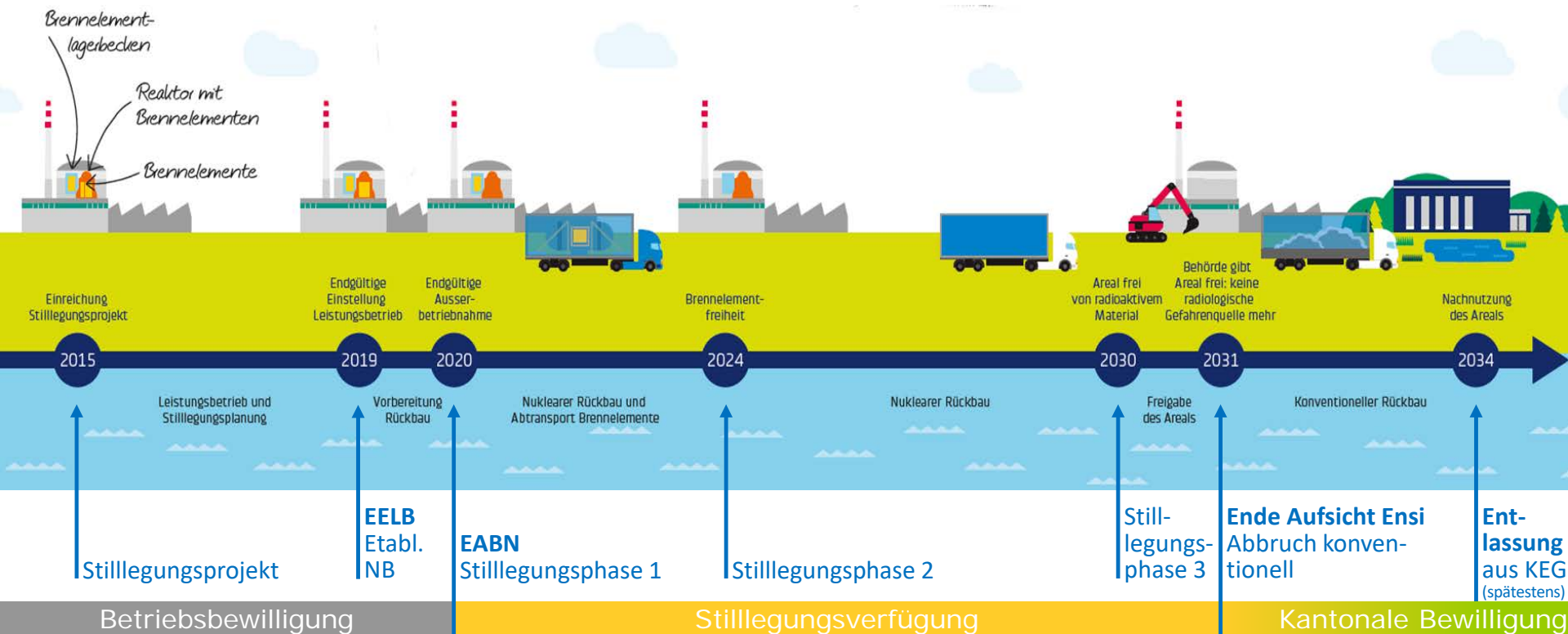


Quelle BKW 2015, Stilllegungsprojekt.

**Vorbereitende Massnahmen werden bereits vor Inkrafttreten der Stilllegungsverfügung angeordnet. Der Rückbau erfolgt in den im Stilllegungsprojekt dargelegten Stilllegungsphasen.**

# Rechtlicher Rahmen der Stilllegung in der Schweiz

Bewilligungssituation am Beispiel des Stilllegungsprojekts für das KKM



Quelle Bild BKW 2016, Broschüre Stilllegung KKM.

KEG Kernenergiegesetz  
EELB endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs  
EABN endgültige Ausserbetriebnahme

Die Stilllegung ist abgeschlossen, wenn das Uvek nach Abschluss der Arbeiten feststellt, dass die Anlage keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt und nicht mehr dem KEG untersteht.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Art. 29 KEG.



# Rechtlicher Rahmen der Stilllegung in der Schweiz

Rechtliches Verfahren abstimmen und offene Punkte frühzeitig klären



Quelle Nuklearforum Schweiz, Vertiefungskurs 2013, Herausforderungen beim Betriebsende von Kernkraftwerken, «Anforderungen an eine sichere und wirtschaftliche Stilllegung aus Sicht eines Betreibers», aktualisiert; Bild SRF 13.5.2015.

## Verlässlichkeit im Verfahrensablauf

- Verfahrensablauf mit allen möglichen Varianten in Betracht ziehen.
- Vorbereitende Massnahmen festlegen.
- Koordination mit Aufsichtsbehörde bei der Erarbeitung des Stilllegungsprojekts.
- Effiziente Verfahrensleitung durch das Bundesamt für Energie im Verfahren Stilllegungsverfügung.
- Festlegung des Freigabeverfahrens bei unwesentlichen Änderungen.
- Ein Verschieben von Arbeiten in eine nächste Stilllegungsphase soll als unwesentliche Änderung im Freigabeverfahren möglich sein.
- Behandlung und Verbleib abgebauten Materials klären, ggf. bilaterales Abkommen für Konditionierung im Ausland.

**Das rechtliche Verfahren bis zur Verfügung der Stilllegung dauert mehrere Jahre. Eine frühzeitige Verfahrensklärung und ein rechtzeitiges Einreichen des Stilllegungsprojekts sind essenziell.**

# Das Stilllegungsprojekt

Grössenordnung am Beispiel des KKM

## Aufwand

Ø 200 Mitarbeitende



## Kosten

~ 900 Mio. CHF  
für die Stilllegung

~ 2.1 Mia. CHF  
für die Entsorgung



## Logistik

~ 200.000 t  
Bausubstanz

~ 1,5% davon  
gehen ins Tiefenlager



Quelle Kontec 2015, 12. Internationales Symposium Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle, Dresden, 25.–27. März 2015, «Erste Stilllegung eines kommerziellen Kernkraftwerks in der Schweiz»;  
Kosten aus Swissnuclear, Kostenstudie 2016, 31.10.2016.

**Stilllegung des KKM ist das bisher grösste Projekt der BKW, grösser als seinerzeit der Bau.**

# Das Stilllegungsprojekt

Pflichten des Eigentümers, unabhängig von Standort und Lebenszyklus der Anlage



Quelle Bilder Kernkraftwerk Brunsbüttel, Kernkraftwerk Gösgen, Greenpeace, Ensi (3mal)

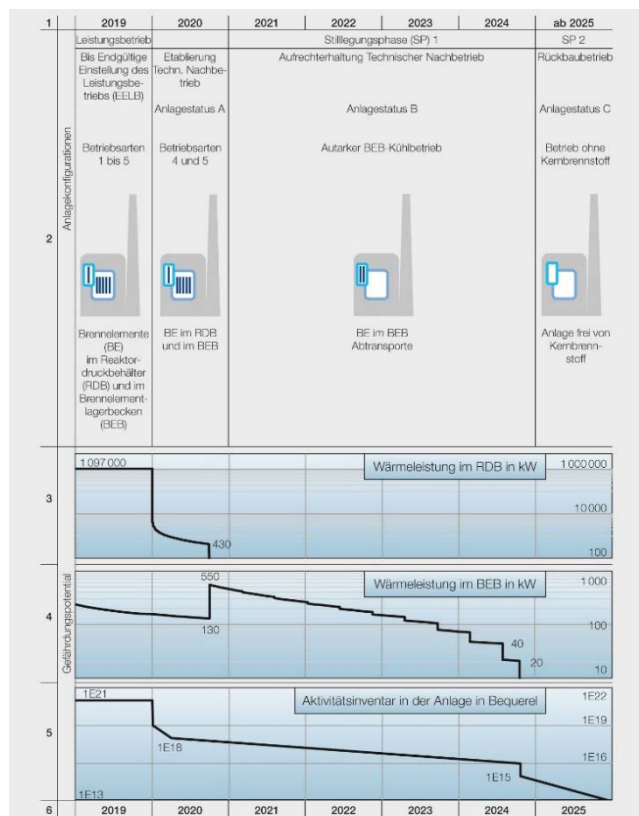
## Wichtigste Ziele des Betreibers

- **Sicherheit:** Die jederzeitige Gewährleistung der Sicherheit, jedoch sollen die Anforderungen bei Reduktion des Gefährdungspotentials mit fortschreitendem Rückbau angepasst werden.
- **Wirtschaftlichkeit:** Ein wirtschaftlicher Umgang mit den bereitgestellten Mitteln, u.a. um nicht beanspruchte Mittel unternehmerisch verwenden zu können.
- **Flexibilität:** Flexibilität betrieblicher und behördlicher Vorgaben, um sich an die Gegebenheiten des vorschreitenden Rückbaus anzupassen.
- **Planung:** Rechtzeitige Planung erlaubt die zeitige Freigabe der Mittel in den Fonds und vermeidet eine zu restriktive Interpretation von Gesetzen und Verordnungen.

**Auch mit endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs und endgültiger Ausserbetriebnahme bleibt die Verantwortung gegenüber Gesellschaft und Aufsichtsbehörden beim Betreiber.**

# Das Stilllegungsprojekt

Gefährdungspotenzial im Verlauf der Stilllegung, am Beispiel des KKM



Quelle BKW 2015, Stilllegungsprojekt; Bulletin SEV/VSE 11/2016, S. Klute.

- Nach der endgültigen Ausserbetriebnahme sinkt das Aktivitätsinventar und damit die Wärmeleistung im Reaktordruckbehälter in drei Monaten auf rund ein Tausendstel, verglichen mit dem Leistungsbetrieb.
- Mit Verlagerung der Brennelemente aus dem Reaktordruckbehälter in das Brennelementlagerbecken ist die Wärmeleistung in ersterem faktisch gleich null, wobei sie sich naturgemäss im Lagerbecken zunächst erhöht.
- Mit jedem Abtransport von Brennelementen zum Zwischenlager Würenlingen wird die Wärmeleistung weiter reduziert.
- Nach Erreichen der Kernbrennstofffreiheit beträgt das Aktivitätsinventar verglichen mit dem Leistungsbetrieb noch ca. ein Millionstel. Mit fortschreitendem Rückbau nimmt es weiter ab.

## Schutzziele entfallen

1. Kontrolle der Reaktivität nach Etablierung des Nachbetriebs.
2. Kühlung der Brennelemente nach Erreichen Kernbrennstofffreiheit.
3. Einschluss radioaktiver Stoffe nach Auszonung des Areals.
4. Begrenzung der Strahlenexposition ebenfalls nach Auszonung.

Mit fortschreitendem Rückbau nimmt das Gefährdungspotenzial stetig und signifikant ab. Die Sicherheit ist weiterhin zu gewährleisten, jedoch mit verhältnismässigen Massnahmen.

# Das Stilllegungsprojekt

## Pflichten des Eigentümers und zu erstellende Unterlagen

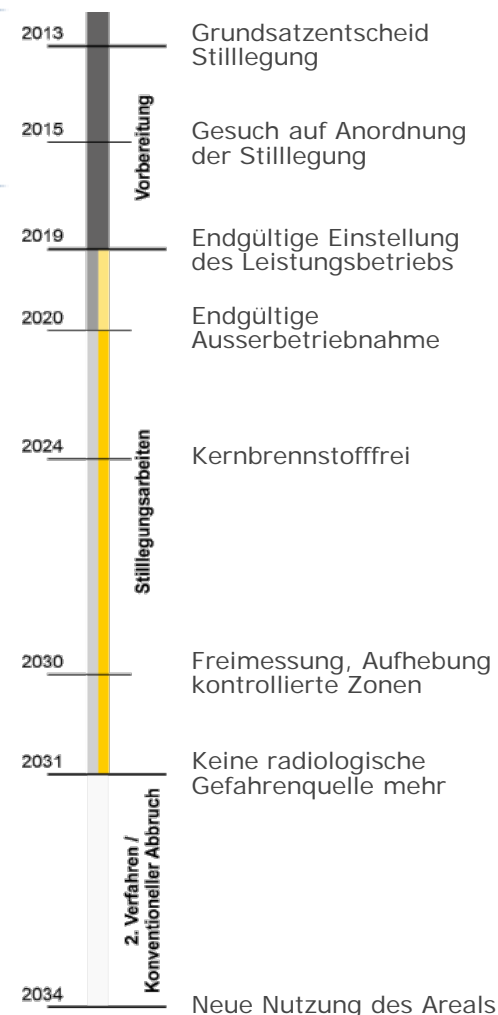
### Art. 26 KEG *Stilllegungspflichten*

- <sup>1</sup> Der Eigentümer muss seine Anlage stilllegen, wenn:
  - a. er sie endgültig ausser Betrieb genommen hat;
  - b. [...]
- <sup>2</sup> Er muss dabei insbesondere:
  - a. die Anforderungen der nuklearen Sicherheit und Sicherung erfüllen;
  - b. die Kernmaterialien in eine andere Kernanlage verbringen;
  - c. die radioaktiven Teile dekontaminieren oder als radioaktive Abfälle behandeln;
  - d. die radioaktiven Abfälle entsorgen;
  - e. die Anlage bewachen, bis alle nuklearen Gefahrenquellen daraus entfernt sind.

### Art. 27 KEG *Stilllegungsprojekt*

- <sup>1</sup> Der Eigentümer der Anlage muss den Aufsichtsbehörden ein Projekt für die vorgesehene Stilllegung vorlegen. Die Aufsichtsbehörde setzt ihm dafür eine Frist.
- <sup>2</sup> Das Projekt legt dar:
  - a. die Phasen und den Zeitplan;
  - b. die einzelnen Schritte von Demontage und Abbruch;
  - c. die Schutzmassnahmen;
  - d. den Personalbedarf und die Organisation;
  - e. die Entsorgung der radioaktiven Abfälle;
  - f. die Gesamtkosten sowie die Sicherstellung der Finanzierung durch die Betreiberin.

### Zeitplan am Beispiel des KKM



Quelle Bild BKW 2015, Stilllegungsprojekt.

**Im Stilllegungsprojekt legt der Eigentümer dar, wie er die Stilllegung vorzunehmen gedenkt. Der Endzustand und der zeitliche Ablauf sind wesentlich und zu beschreiben.**

# Das Stilllegungsprojekt

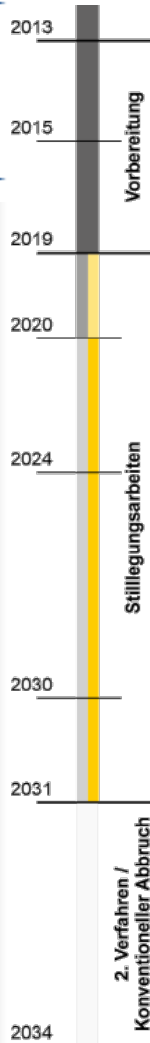
Die einzureichenden Unterlagen sind in der Kernenergieverordnung geregelt

## Art. 45 KEV *Projektunterlagen*

Der Stilllegungspflichtige hat folgende Unterlagen zum Stilllegungsprojekt einzureichen:

- die Gegenüberstellung verschiedener Varianten der Phasen, des Zeitplans der Arbeiten und des zu erwartenden Endzustandes sowie die Begründung der gewählten Variante;
- die Darlegung der einzelnen Arbeitsschritte und der dafür benötigten Mittel, namentlich die Ermittlung des radiologischen Zustandes der Anlage, Demontage, Zerlegung und Dekontamination der Einrichtungen, Dekontamination und Abbruch von Gebäuden;
- das Vorgehen zur Trennung der radioaktiven von den nicht radioaktiven Abfällen und die Entsorgung der radioaktiven Abfälle;
- die Massnahmen zum radiologischen Schutz der Arbeitnehmenden und zur Vermeidung der Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung;
- die Sicherungsmassnahmen;
- Störfallbetrachtungen, namentlich die Ermittlung der möglichen Störfälle bei der Stilllegung, die Abschätzung der Häufigkeit und der radiologischen Auswirkungen der Störfälle sowie die Gegenmassnahmen und allfälligen Notfallschutzmassnahmen;
- den Nachweis für die Bereitstellung des für Durchführung und Überwachung der Arbeiten erforderlichen geeigneten und fachlich ausgewiesenen Personals in genügender Zahl sowie einer geeigneten Organisation mit klarer Zuweisung der Verantwortlichkeiten;
- das Qualitätsmanagementprogramm;
- den Umweltverträglichkeitsbericht;
- die Zusammenstellung sämtlicher aus der Stilllegung anfallender Kosten, inklusive für die Entsorgung der radioaktiven und nicht radioaktiven Abfälle und die Sicherstellung der Finanzierung.

Quelle Bild BKW 2015, Stilllegungsprojekt.



**Herausforderung ist, die Unterlagen so zu gestalten, dass die Anforderungen erfüllt, gleichzeitig möglichst viel Flexibilität erhalten bleibt und wenig Risiko für wesentliche Änderungen besteht.**

# Die Stilllegungsverfügung

Basis ist das Gesuch auf Anordnung der Stilllegung, insbes. das Stilllegungsprojekt

## Gesetzliche Regelung

### Art. 28 KEG Stilllegungsverfügung

Das Departement ordnet die Stilllegungsarbeiten an. Es legt fest, welche Arbeiten einer Freigabe durch die Aufsichtsbehörden bedürfen.

### Gesuch auf Anordnung der Stilllegung (BKW)



Quelle Bild energisch.ch zum Stilllegungsprojekt der BKW.

## Verordnete Regelungen

### Art. 46 KEV Stilllegungsverfügung

Die Stilllegungsverfügung legt insbesondere fest:

- den Umfang der Stilllegungsarbeiten;
- die einzelnen Stilllegungsphasen, insbesondere die Dauer eines allfälligen gesicherten Einschlusses der Kernanlage;
- die Limiten für die Abgabe von radioaktiven Stoffen an die Umwelt;
- die Überwachung der Immissionen radioaktiver Stoffe und der Direktstrahlung;
- die Organisation

### Art. 47 KEV Freigaben

Die Stilllegungsverfügung regelt die Freigabepflicht insbesondere für

- das Vorgehen zur Inaktiv-Freimessung der anfallenden Materialien;
- die Konditionierung der anfallenden radioaktiven Abfälle;
- den Abbruch von Gebäuden nach deren Dekontamination und Inaktivfreimessung;
- die nichtnukleare Weiternutzung von Anlageteilen vor Abschluss der Stilllegung;
- die Aufhebung von Sicherungsmassnahmen;
- bei der Stilllegung von Kernkraftwerken zudem die Demontage des Reaktordruckbehälters und der ihn umgebenden Gebäudeteile.

**Gestützt auf Stilllegungsprojekt, Gutachten der Sicherheitsbehörden und allenfalls weiterer, etwa für Umweltschutz zuständiger Behörden, erlässt das Departement die Stilllegungsverfügung.**

# Optimierung von Nachbetrieb und Rückbau

Gestaltung der Stilllegungsphasen in Übereinstimmung mit Richtlinie Ensi-G17

- Die Stilllegung ist in Stilllegungsphasen abzuwickeln. In der Regel sind mindestens deren zwei erforderlich:
  1. Rückbauarbeiten mit Kernbrennstoff auf der Anlage.
  2. Rückbauarbeiten mit brennstofffreier Anlage.
- Vorbereitungen für den Rückbau, wie z.B. die Bereitstellung von Infrastruktur, aber auch der Vorbereitung des Anlagerückbaus dienende Arbeiten finden bereits im Nachbetrieb statt.
- Eigentliche Rückbauarbeiten sind erst nach Inkrafttreten der Stilllegungsverfügung und Etablierung des sicheren Nachbetriebs möglich.
- Für jede Stilllegungsphase sind die Anforderungen an Sicherheit und Sicherung festzulegen.
- Das Stilllegungsprojekt wird während des Leistungsbetriebes entwickelt.

## 5. Ideen zum Stilllegungsprojekt des KKM Mögliches Phasenkonzept unter gegenwärtiger G17



Nachbetrieb mit Vorbereitung Stilllegung	Rückbau (RB) in zwei Phasen		Abschluss Stilllegung
	1. RB mit Kernbrennstoff	2. RB ohne Kernbrennstoff	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nachbetrieb (allenfalls mit aktualisiertem StfS und angepasster Betriebsdokumentation)</li> <li>▪ Verbringen der BE und Steuerstäbe in das BEB.</li> <li>▪ Konditionieren RDB Einbauten (Reaktorabfälle).</li> <li>▪ Systemdekontamination.</li> <li>▪ Entfernen nicht mehr benötigter Einrichtung.</li> <li>▪ Herstellen BEB Autarkie.</li> <li>▪ Errichten Zentrum für Materiallogistik und Dekontamination (im SWR z.B. im MH).</li> <li>▪ Bereitstellen sonstiger Infrastruktur (und Platz schaffen dafür), auch auf dem Areal.</li> <li>▪ Errichten von (konventionellen) Ersatzsystemen.</li> <li>▪ Verbringen der konditionierten Betriebsabfälle in eine andere Kernanlage, z.B. in Lager der Zwilag.</li> </ul> <p>Der Nachbetrieb endet mit Inkrafttreten der Stilllegungsverfügung.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Forts. Vorbereitung Stlg (ggf. mit formaler Anpassung der Unterlagen zum Nachbetrieb).</li> <li>▪ Rückbau sämtlicher Systeme, welche nicht noch benötigt werden                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– zu Aufrechterhaltung der Schutzziele oder</li> <li>– Abtransport der BE – oder für den weiteren Rückbau.</li> </ul> </li> <li>▪ Nach Herstellung der Autarkie des BEB                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Demontage RDB</li> <li>– Abbau Bioschild.</li> </ul> </li> <li>▪ Abtransport der BE, anschliessend Aufhebung der Sicherungsmassnahmen</li> <li>▪ Vorziehen später vorgesehener Arbeiten zum Rückbau von Nebenanlagen und -gebäuden gemäss im Stilllegungsprojekt festzulegendem Freigabeverfahren.</li> </ul> <p>Phase 1 endet mit Erreichen der Kernbrennstofffreiheit.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Restarbeiten Phase 1 (V.m. formaler Anpassung Endzustand Phase 1)</li> <li>▪ Rückbau aller Wasser führenden Systeme.</li> <li>▪ Rückbau restlicher Systeme und – soweit für Versorgung mit Medien notwendig – Anschluss an Ersatzsysteme.</li> <li>▪ Herstellen freimessbarer Räume.</li> <li>▪ Freimessen der kontrollierten Zone.</li> <li>▪ Auszonung.</li> <li>▪ Geländefreigabe.</li> <li>▪ Aufhebung Bewachung.</li> <li>▪ Vorziehen später vorgesehener Arbeiten zum Rückbau von Nebenanlagen und -gebäuden gemäss im Stilllegungsprojekt festzulegendem Freigabeverfahren.</li> </ul> <p>Phase 2 endet mit der Freigabe der Gebäude und des Areals.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Restarbeiten Phase 2 (dürfte höchstens vorgezogene Arbeiten betreffen).</li> <li>▪ Konventioneller Abbau soweit im Stilllegungsprojekt vorgesehen.</li> <li>▪ Erstellen und Einreichen des Abschlussberichtes über die Stilllegung.</li> <li>▪ Entlassung aus dem Geltungsbereich der Kernenergiegesetzgebung.</li> </ul> <p>Die Stilllegung endet mit der Entlassung aus dem Geltungsbereich des KEG.</p>



Folie aus «Anforderungen an eine sichere und wirtschaftliche Stilllegung aus Sicht eines Betreibers», Olten, Dezember 2013. Dargestellt sind die Stilllegungsarbeiten und bloss die zum Nachbetrieb gehörigen Tätigkeiten. Die Etablierung des Nachbetriebs ist noch nicht aufgeführt.

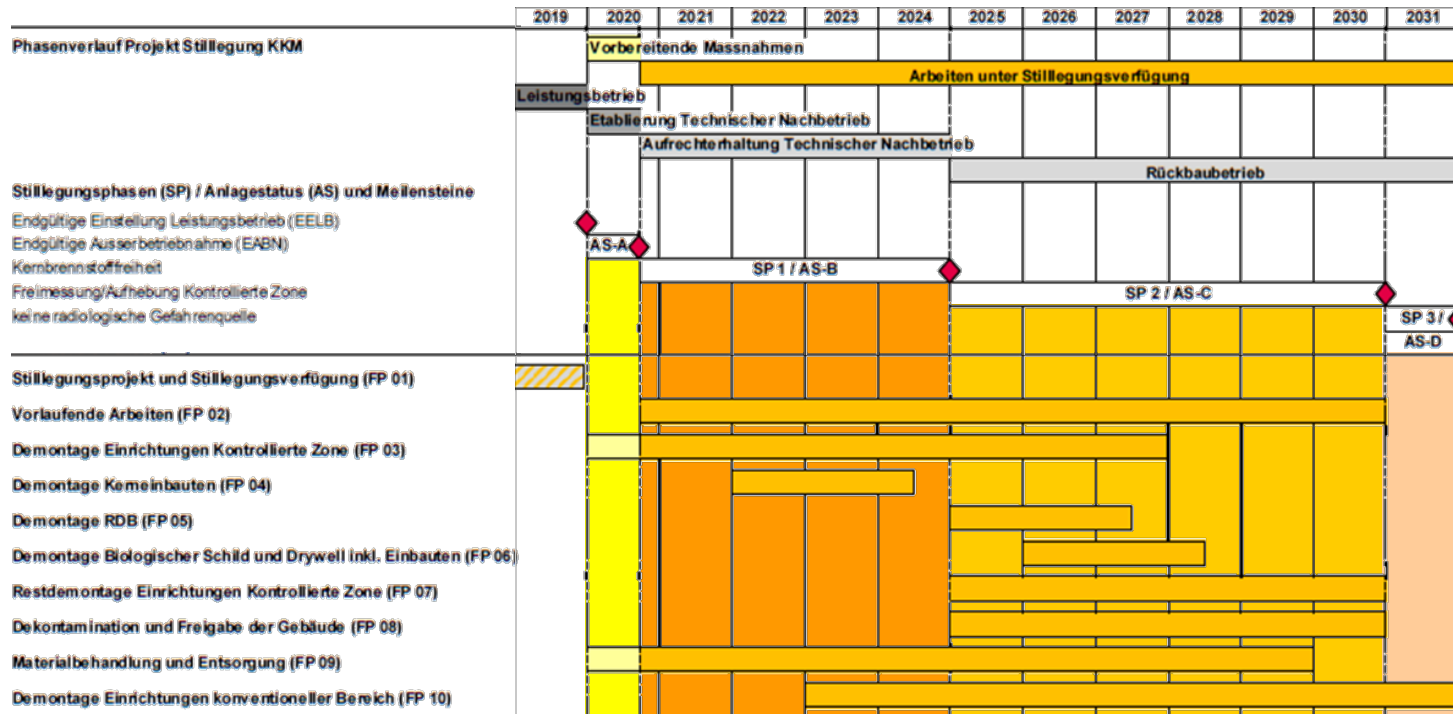
Quelle Nuklearforum Schweiz, Vertiefungskurs 2013, Herausforderungen beim Betriebsende von KKW, «Anforderungen an eine sichere und wirtschaftliche Stilllegung aus Sicht eines Betreibers», ergänzt.

**Die Parallelisierung von Nachbetrieb und Rückbau ist möglich. Wichtig ist eine genügend detaillierte, aber dennoch flexible Beschreibung der Stilllegungsphasen.**



# Optimierung von Nachbetrieb und Rückbau

Zeitliche Planung der Stilllegungsarbeiten am Beispiel des KKM



Nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs wird der Nachbetrieb etabliert und bis zur Kernbrennstofffreiheit aufrecht erhalten. Anschliessend wird er unter kontinuierlicher Vereinfachung als Rückbaubetrieb fortgesetzt.

- AS-A: Anlagestatus bei Etablierung Nachbetrieb
- AS-B: Anlagestatus in Stilllegungsphase SP 1
- AS-C: Anlagestatus in Stilllegungsphase SP 2
- AS-D: Anlagestatus in Stilllegungsphase SP 3

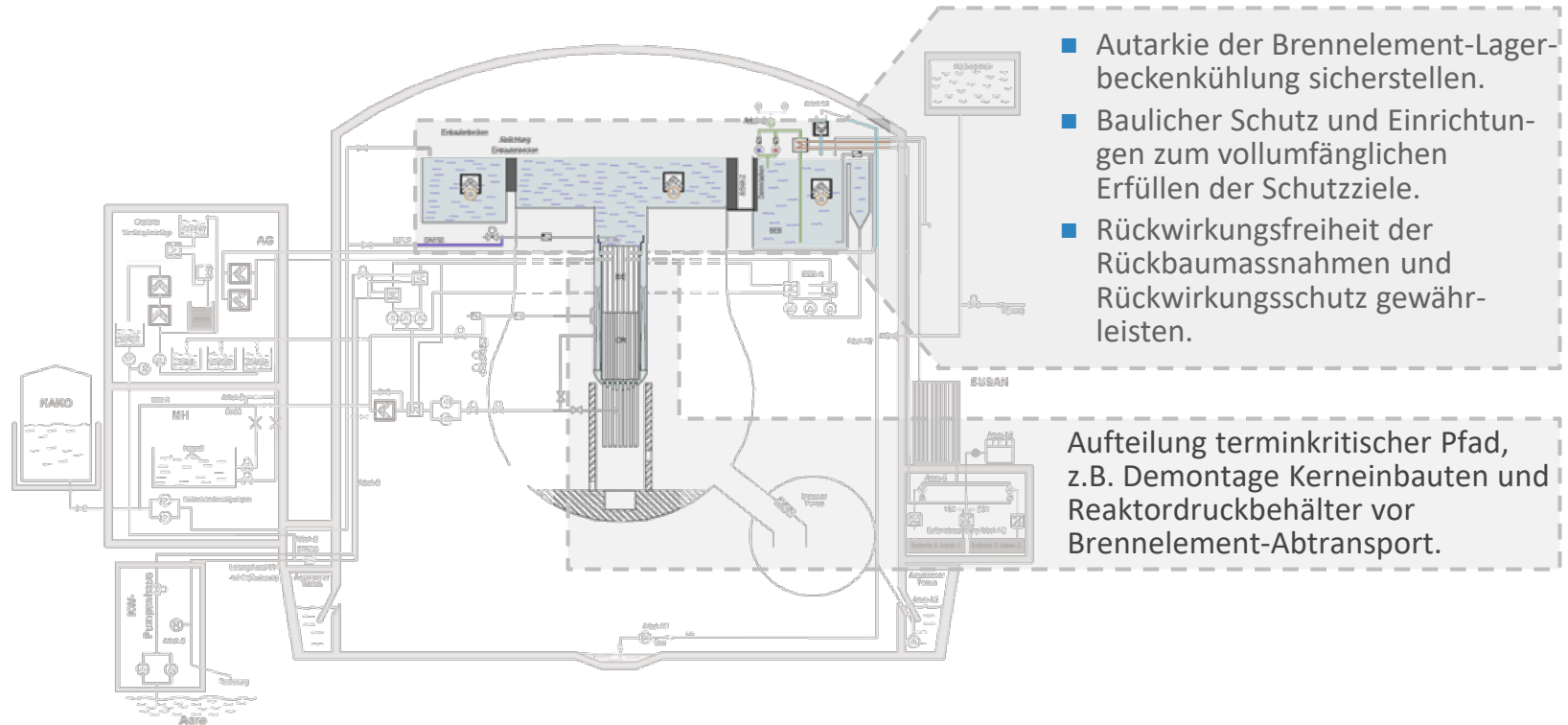
Quelle BKW 2015, Stilllegungsprojekt.

**Voraussetzung für die behördliche Freigabe einer Stilllegungsphase ist die Beschreibung des Anlagestatus mit zugehörigem Betriebszustand mittels Sicherheits- und Sicherungsberichts.**

# Optimierung von Nachbetrieb und Rückbau

Massnahmen zur Aufteilung des terminkritischen Pfads am Beispiel des KKM

## Verkürzung der Gesamtdauer der Stilllegung angestrebt



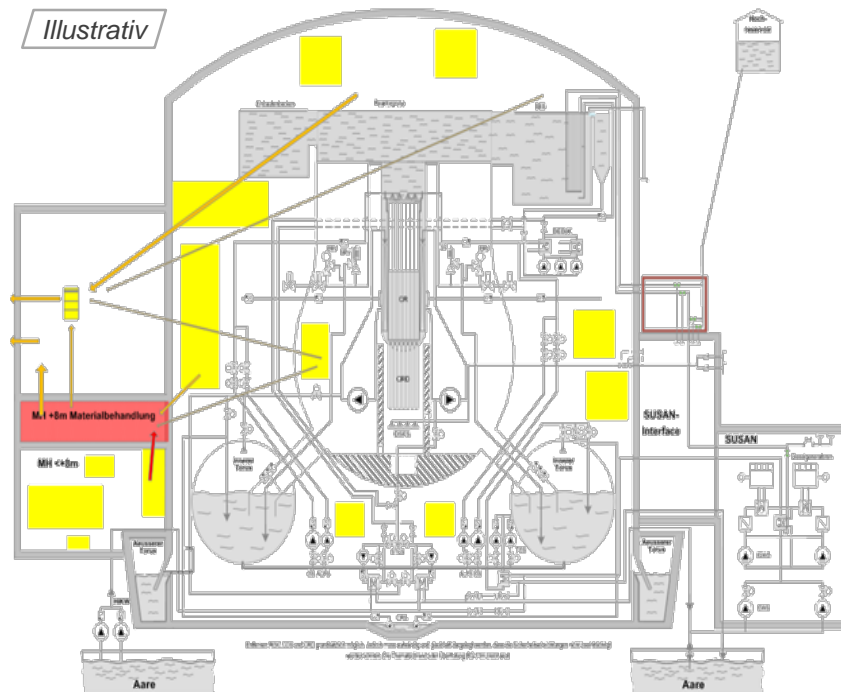
Quelle Kontec 2015, 12. Internationales Symposium Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle, Dresden, 25.–27. März 2015, «Erste Stilllegung eines kommerziellen Kernkraftwerks in der Schweiz».

**Durch geeignete technische Massnahmen wird eine Parallelisierung von Nachbetrieb und Stilllegung erreicht. Damit wird die Projektdauer signifikant reduziert.**

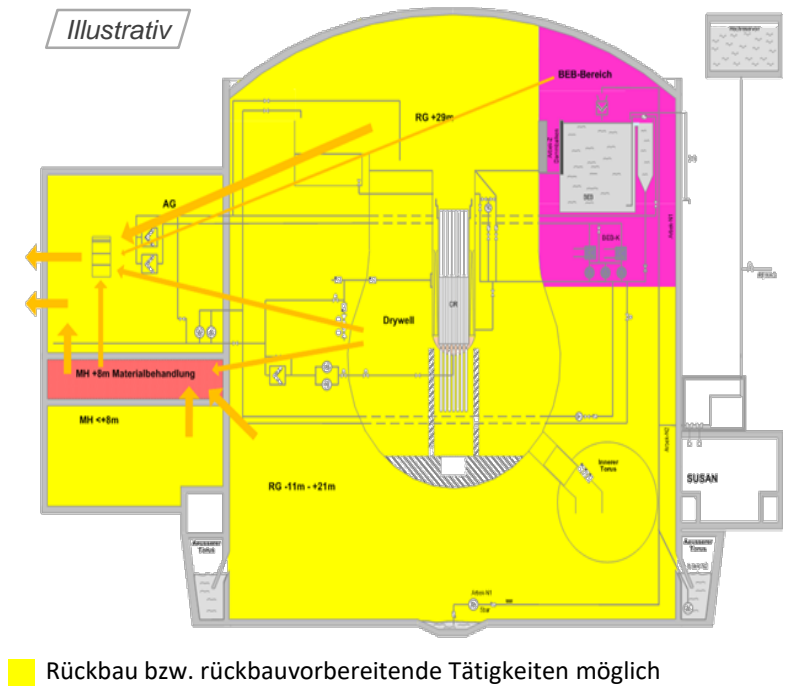
# Optimierung von Nachbetrieb und Rückbau

Auswirkungen einer autonomen Brennstoffkühlung am Beispiel des KKM

## Ohne autarkes BE-Lagerbecken



## Mit autarkem BE-Lagerbecken



Quelle: Kontec 2015, 12. Internationales Symposium Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle, Dresden, 25.–27. März 2015, «Erste Stilllegung eines kommerziellen Kernkraftwerks in der Schweiz».

BE Brennelement  
RG Reaktorgebäude

Begrenzte, voneinander getrennte Arbeitsbereiche im RG (bis BE-Freiheit).

Schnelle Ausserbetriebnahme von Systemen und frühzeitiges Arbeiten im RG.

# Organisation eines Stilllegungsprojekts

Spannungsfeld zwischen Betrieb und Rückbau

## Entwicklung Organisation für die Stilllegung

- Die Prozesse im Leistungsbetrieb und die in Nachbetrieb und Rückbau unterscheiden sich grundsätzlich:
  - Der **Betrieb** erzeugt Strom und damit die Zufriedenheit der **Stromkunden**.
  - Der **Rückbau** entfernt Material und ermöglicht letztlich Nachnutzung zur Zufriedenheit der **Standorteigner**.
- Managementsystem und die auf den Betrieb ausgerichteten Prozesse sind an die neue Struktur anzupassen.
- Die Organisation ist von einer Betriebsorganisation in eine Rückbau- bzw. Projektorganisation zu überführen.
- Vorgehensweisen und Arbeiten in Nachbetrieb und Rückbau müssen plan- und steuerbar sein.
- Ein Konzept für Personal Perspektiven ist rechtzeitig zu erarbeiten und zu kommunizieren.
- Die Sicherheit ist jederzeit zu gewährleisten.

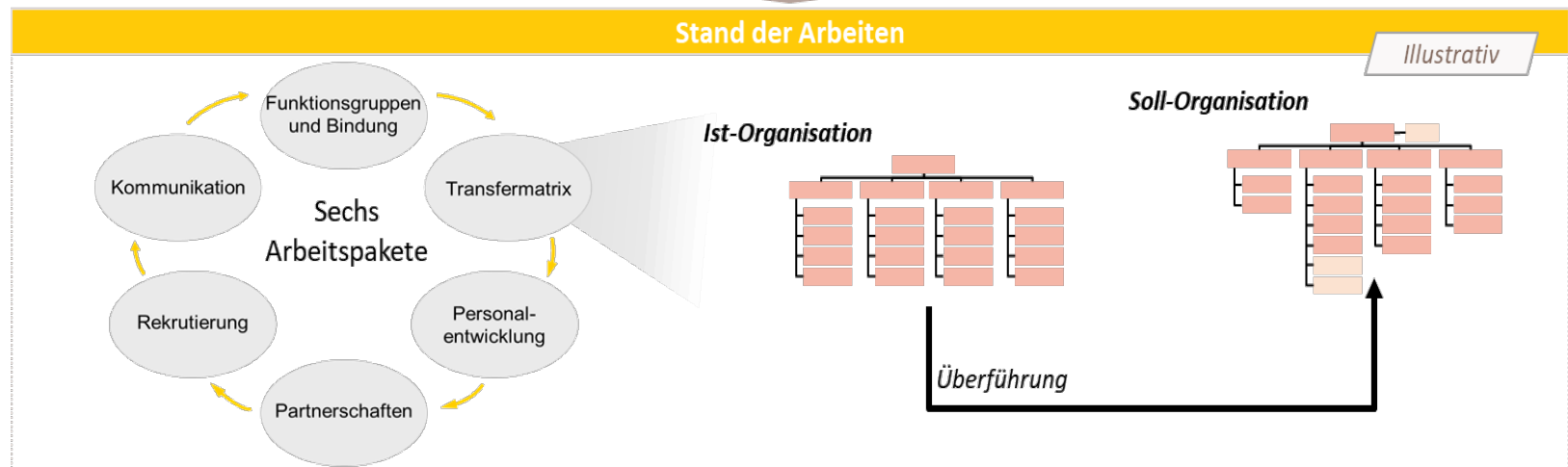
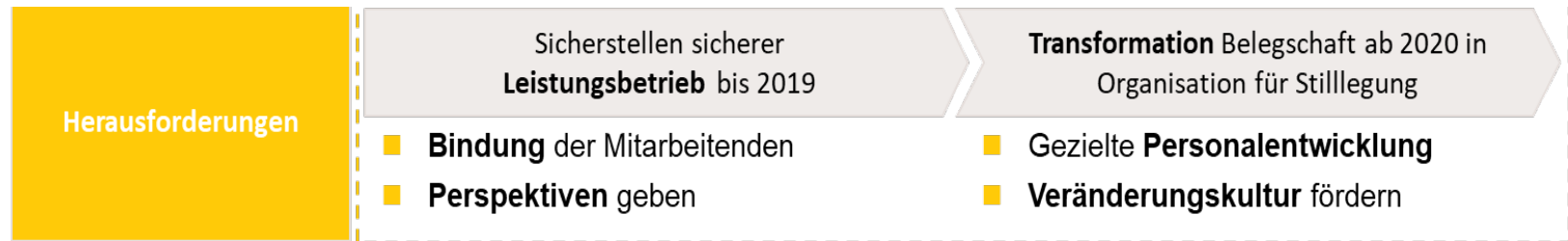


Quelle Nuklearforum Schweiz, Vertiefungskurs 2013, Herausforderungen beim Betriebsende von KKW, «Anforderungen an eine sichere und wirtschaftliche Stilllegung aus Sicht eines Betreibers» (Bild thesmartrainer.com).

**Die Entwicklung einer Stilllegungsorganisation bereits während des Leistungsbetriebs ermöglicht eine reibungslose Anpassung von Prozessen und Organisation.**

# Organisation eines Stilllegungsprojekts

Überwindung des personellen Spannungsfeldes am Beispiel des KKM (März 2015)



Quelle Kontec 2015, 12. Internationales Symposium Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle, Dresden, 25.–27. März 2015, «Erste Stilllegung eines kommerziellen Kernkraftwerks in der Schweiz».

**Motivierte Mitarbeitende leisten einen wesentlichen Beitrag zur effizienten und sicheren Durchführung des komplexen Grossprojekts Stilllegung.**

# Behandlung der anfallenden Materialien

Nutzung des Maschinenhauses eines Siedewasserreaktors am Beispiel des KKM



- Nutzung Maschinenhaus als Zentrum für die Materialbearbeitung:
  - Beschränkte Platzverhältnisse auf dem Areal.
  - Zeitbedarf und Kosten eines Neubaus werden als hoch eingeschätzt.
- Nach Ausserbetriebnahme frühzeitige Leerung des Turbinenflurs.
- Installation erforderlicher Behandlungseinrichtungen für Bearbeitung, Dekontamination und Zerlegung.
- Externe Materialbehandlung nutzen (Zwilag sowie Einschmelzen).



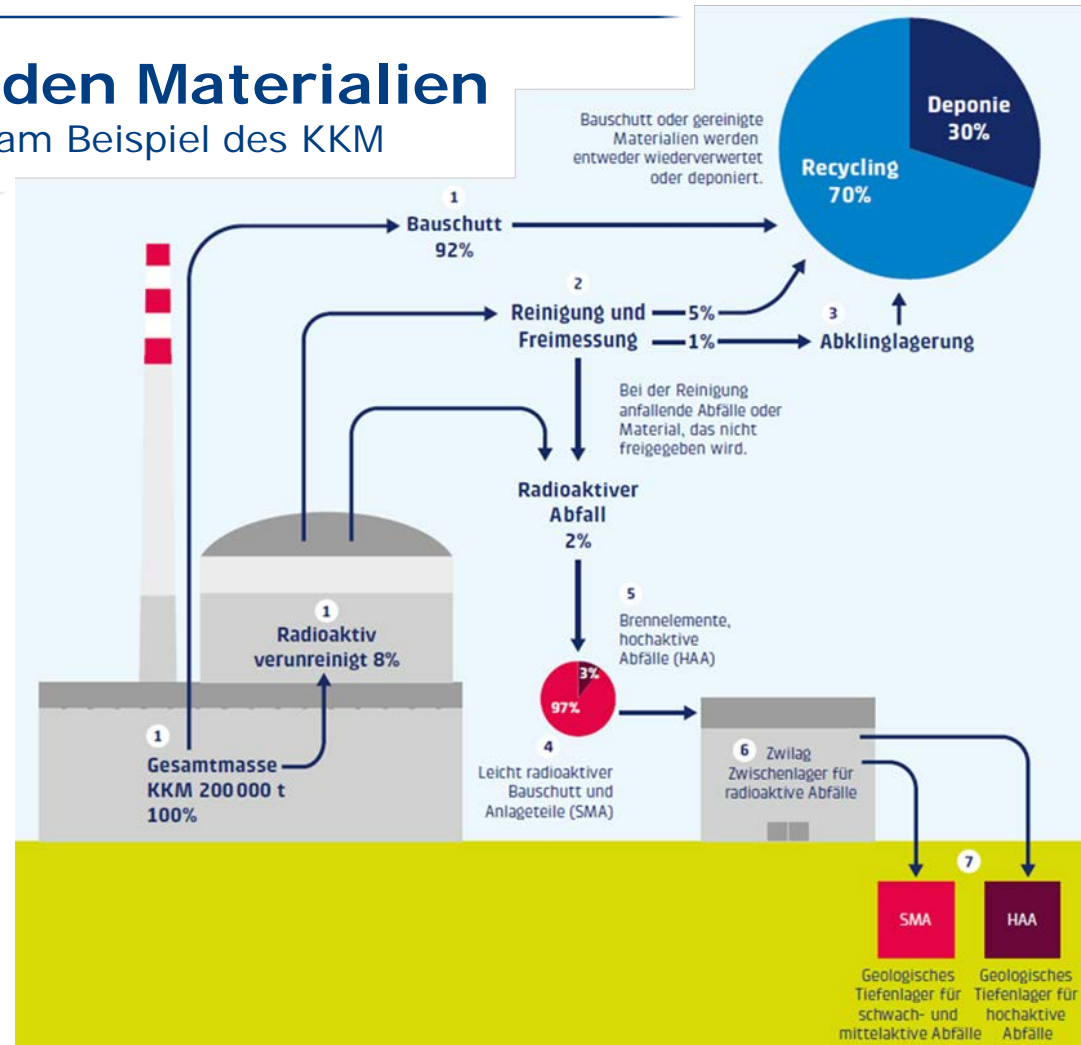
Quelle Kontec 2015, 12. Internationales Symposium Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle, Dresden, 25.–27. März 2015, «Erste Stilllegung eines kommerziellen Kernkraftwerks in der Schweiz».

**Um hohe Kosten und überdimensionierte Einrichtungen zu vermeiden, erfolgt die Auslegung der Bearbeitungskapazität nicht für Spitzenlast. Externe Materialbehandlung entlastet den Standort.**

# Verbleib der anfallenden Materialien

Wiederverwertung und Entsorgung am Beispiel des KKM

- Die Gesamtmasse beträgt rund 200'000 Megagramm. Der Rückbau erzeugt mehrheitlich normalen Bauschutt. Nur etwa 8 Prozent der Materialien ist mit radioaktiven Stoffen in Berührung gekommen. Das Gros dieser Materialien lässt sich reinigen und danach wiederverwerten oder auf einer normalen Deponie ablagern.
- Rund 3'000 Megagramm der anfallenden Materialien sind als radioaktiver Abfall zu entsorgen. Es sind ausschliesslich schwach- und mittelaktive Abfälle, die entsprechend verpackt zwischenzulagern und später in ein geologisches Tiefenlager zu verbringen sind.
- Die ausgedienten Brennelemente klingen zuerst mehrere Jahre im Brennelementlagerbecken ab, bevor sie der Zwischenlagerung und später einem geologischen Tiefenlager zugeführt werden.



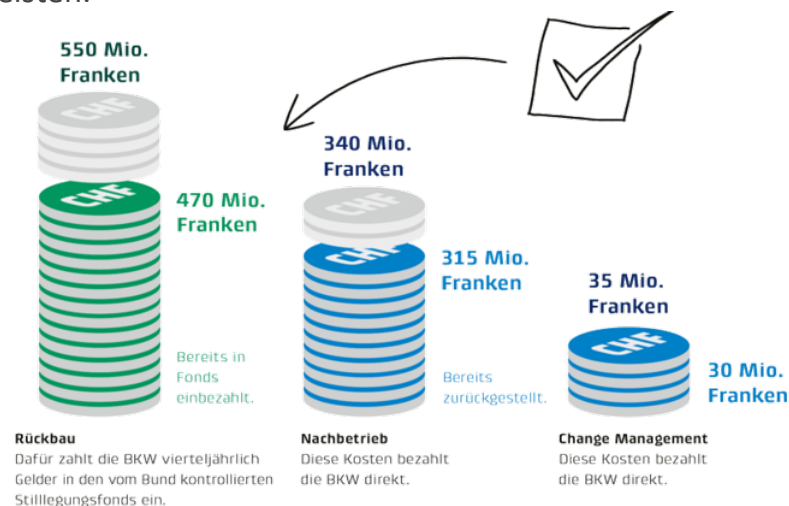
Quelle BKW 2016, Broschüre Stilllegung KKM.

**Beim Rückbau fällt mehrheitlich Bauschutt an. Radioaktiv ist nur eine kleine Menge, die überwiegend gereinigt wird. Als radioaktiver Abfall zu entsorgen sind weniger als zwei Prozent.**

# Finanzierung der Stilllegung

Das Gesetz regelt Stilllegung und Entsorgung sowie deren Finanzierung umfassend

- Der Eigentümer muss seine Anlage stilllegen, wenn er sie endgültig ausser Betrieb genommen hat.<sup>1</sup>
- Wer eine Kernanlage betreibt oder stilllegt, ist verpflichtet, die aus der Anlage stammenden radioaktiven Abfälle auf eigene Kosten sicher zu entsorgen.<sup>2</sup>
- Die Entsorgungspflicht ist dann erfüllt, wenn die Abfälle in ein geologisches Tiefenlager verbracht worden sind und die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den allfälligen Verschluss sichergestellt sind.<sup>3</sup>
- Das Kernenergiegesetz verpflichtet die Eigentümer der Kernanlagen, einen Stilllegungs- und einen Entsorgungsfonds zu bilden sowie an diese Fonds Beiträge zu leisten.<sup>4</sup>
- Der seit 1984 bestehende Stilllegungsfonds soll die Kosten für die Stilllegung der Kernanlagen sowie für die Entsorgung der dabei entstehenden Abfälle decken. Er stellt sicher, dass nach endgültiger Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke genügend finanzielle Mittel vorhanden sind, um sämtliche noch ausstehenden Stilllegungsaufwendungen zu decken. Die Bemessung der in den Stilllegungsfonds zu leistenden Beiträge sowie der Rückstellungen der Eigentümer für die Stilllegung und die Entsorgung erfolgt auf Basis einer umfassenden Schätzung der Stilllegungskosten. Diese müssen gemäss Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung alle fünf Jahre neu geschätzt werden.<sup>5</sup>



Quelle Bild BKW Broschüre «Die Finanzierung ist auf Kurs», 2018.

<sup>1</sup>Art. 26 Bst. a KEG. <sup>2</sup>Art. 31 Abs. 2 KEG. <sup>3</sup>Art. 4 Abs. 1 SEFV.  
<sup>4</sup>Art. 31 Abs. 1 KEG. <sup>5</sup>Art. 77 KEG.  
SEFV Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung

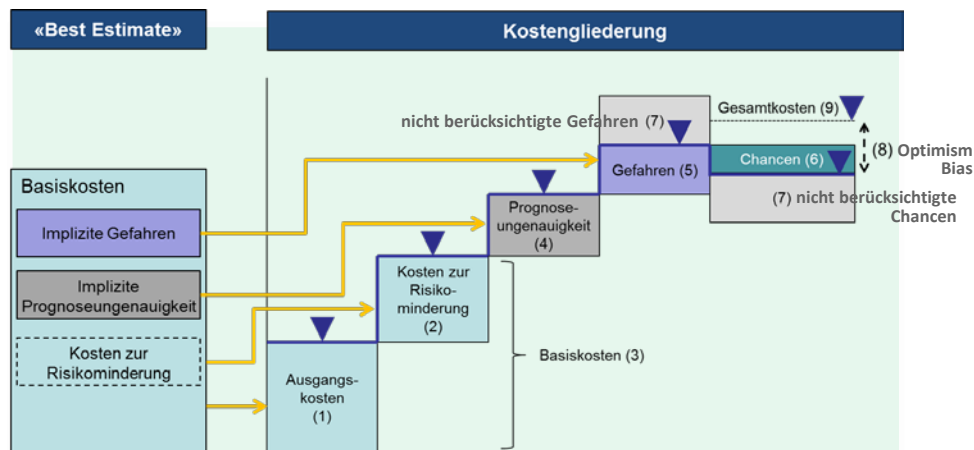
**Verursacherprinzip<sup>2</sup> und Entsorgungspflicht<sup>3</sup> gelten uneingeschränkt. Betreiber sind gesetzlich verpflichtet, die Stilllegungskosten zu tragen und diese alle fünf Jahre umfassend zu schätzen.**



# Finanzierung der Stilllegung

Durch Swissnuclear bzw. die Betreiber erstellte Kostenstudie 2016 und Vorgaben dazu

## Vorgaben zur Kostengliederung



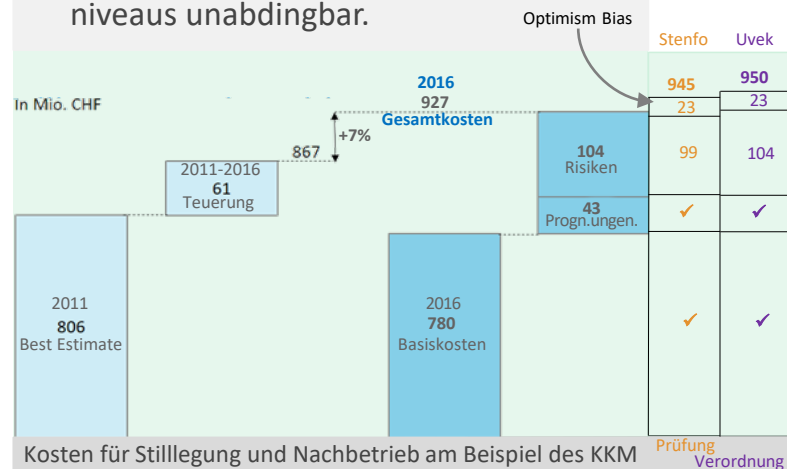
Die Verwaltungskommission des Stilllegungs- und des Entsorgungsfonds verlangt verbindlich

- vorgegebene Kostenstrukturen, die Vergleiche und Plausibilisierungen ermöglichen, sowie
- eine vorgegebene Kostengliederung und damit auch die Aufteilung der bisherigen gesamthaften Best Estimate Schätzung in analytisch getrennte Teilmengen.

Quelle Swissnuclear Kostenstudie 2016; Stenfo 2017, Uvek 2018.

## Kostenermittlung

- Die Ermittlung der Kosten für Nachbetrieb und Stilllegung erfolgt in mehreren Schritten.
- Damit die Kostengliederung nicht als Kostentreiber wirkt, ist eine konsequente Zuweisung zu den Kostenniveaus unabdingbar.



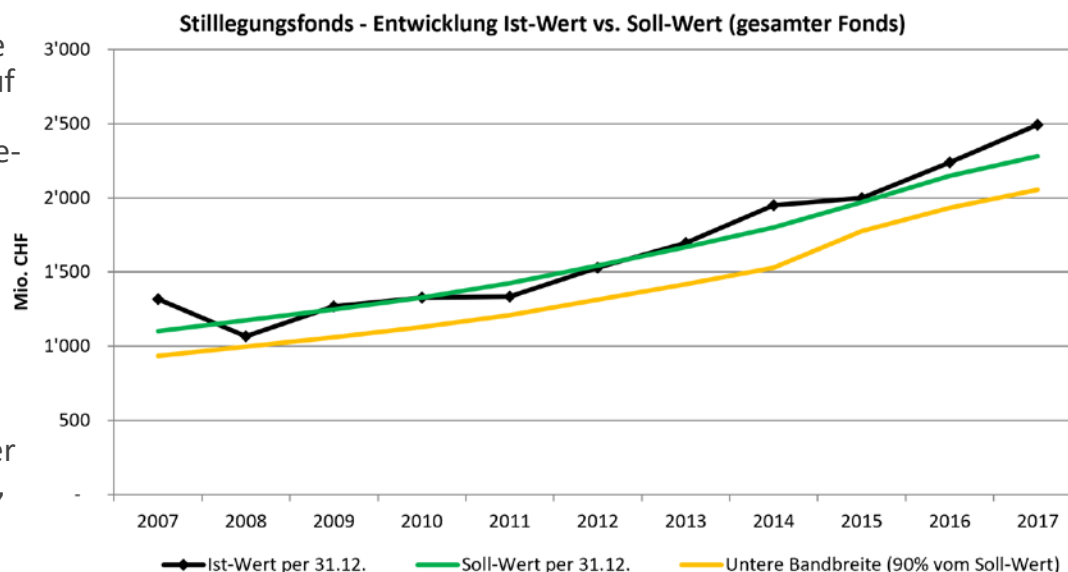
Stenfo: Stilllegungs- und Entsorgungsfonds  
Uvek: Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation

**Ensi zusammen mit externen Experten und unabhängige Kostenprüfer prüfen die Kostenstudien. Die Kostensteigerung ist moderat, auch wenn man alle Kostengliederungsniveaus berücksichtigt.**

# Finanzierung der Stilllegung

## Der Stilllegungsfonds und sein Zweck

- Die während des Betriebs anfallenden Stilllegungs- und Entsorgungskosten sowie die Kosten für den Nachbetrieb werden von den Betreibern direkt bezahlt.
- Der Stilllegungsfonds soll die Kosten für die Stilllegung nach der Ausserbetriebnahme sowie für die Entsorgung der dabei entstehenden Abfälle decken. Er ist so konzipiert, dass nach Erreichen einer 50-jährigen Betriebsdauer genügend Fondsvermögen vorhanden sein wird, um die ab diesem Zeitpunkt noch anfallenden Stilllegungskosten finanzieren zu können.
- Die Betreiber sind verpflichtet, Beiträge an den Fonds zu leisten. Diese werden alle fünf Jahre basierend auf der aktuellsten Kostenstudie und unter Berücksichtigung einer Anlagerendite von 3.5% p.a. sowie einer Teuerungsrate von 1.5% p.a. festgelegt.
- Ungenügendes Fondsvermögen aufgrund eines Börsencrashes kann zusätzliche Einzahlungen erfordern.
- Die einbezahlten Gelder werden dem direkten Zugriff der Eigentümer entzogen und vom Fonds verwaltet, welcher die zweckgebundene Verwendung sicherstellen soll.



Quelle Stilllegungs- und Entsorgungsfonds, Faktenblatt Nr. 3 2018.

**Zu keiner Zeit werden durch die Fonds die Eigentümer von ihrer Kostentragungspflicht entbunden, weder während noch nach Ende der Beitragspflicht.**

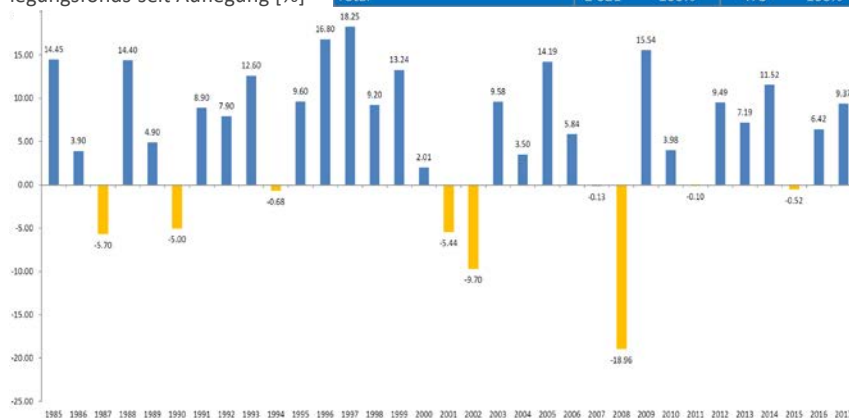
# Finanzierung der Stilllegung

Der Stilllegungsfonds, seine bisherige Entwicklung und die zukünftig erwartete

Die Gelder werden in ein global diversifiziertes Portfolio investiert.

Vermögenswerte Stilllegungsfonds per 1.1.2018	Gesamtvermögen [MCHF]			
	KKB, KKG, KKL, Zwiilag	KKM		
Liquidität	0	0.0%	76	16.0%
Obligationen	1'010	50.0%	194	41.0%
Obligationen CHF	404	20.0%	113	24.0%
Obligationen FW (hedged)	606	30.0%	80	17.0%
Nominalwerte	1'010	50.0%	269	57.0%
Aktien	606	30.0%	156	33.0%
Immobilien	303	15.0%	31	6.5%
Alternative Anlagen	101	5.0%	17	3.5%
Sachwerte	1'010	50.0%	203	43.0%
<b>Total</b>	<b>2'021</b>	<b>100%</b>	<b>473</b>	<b>100%</b>

Jahresgesamtrenditen des Stilllegungsfonds seit Auflegung [%]

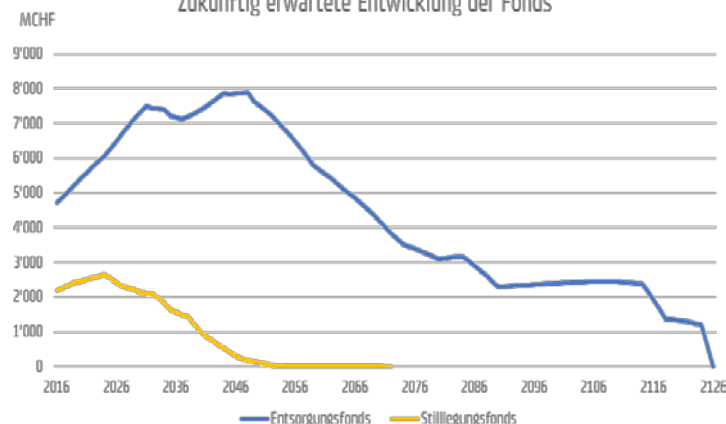


Die seit Fondsauflegung erzielte Realrendite liegt mit 5.06% bzw. 4,25% nach Abzug der Teuerung deutlich über 2% p.a.

Die Fonds sind der Aufsicht des Bundesrats unterstellt. Die Fondsgremien sind mehrheitlich unabhängig besetzt.

Auf Basis der Kostenstudie 2016 wird der Stilllegungsfonds bis ca. 2025 auf rund 2.7 Mrd. CHF ansteigen und der Entsorgungsfonds bis ca. 2050 auf rund 8 Mrd. CHF.

Zukünftig erwartete Entwicklung der Fonds



Quelle Stilllegungs- und Entsorgungsfonds, Faktenblatt Nr. 3 2018.

**Stilllegungs- und Entsorgungsfonds sind ein Sicherungsinstrument zur Gewährleistung, dass dem Verursacherprinzip konsequent Rechnung getragen wird.**

# Erfolgsfaktoren für die Stilllegung

## Herausforderungen und Erfolgsfaktoren



### Management und Organisation

- Grossprojekt strukturell und prozessual professionell aufsetzen.
- Kulturwandel und methodische Kompetenzen gestalten.



### Verfahren und Recht

- Stilllegungsprojekt so früh wie möglich erstellen und einreichen.
- Strukturierte Behördenbegleitung im Bewilligungsverfahren.
- Rechtliche Freiheitsgrade nutzen.



### Technik und Partnerschaften

- Innovative Konzepte zur Kostenoptimierung entwickeln und umsetzen.
- Strategische Partnerschaften mit Lieferanten/Betreibern aufbauen.



### Öffentlichkeit und Kommunikation

- Relevante Anspruchsgruppen identifizieren und frühzeitig einbinden.
- Interne und externe Kommunikation gestalten.

Quelle Kontec 2015, 12. Internationales Symposium Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle, Dresden, 25.–27. März 2015, «Erste Stilllegung eines kommerziellen Kernkraftwerks in der Schweiz».

**Rechtzeitiges und sorgfältiges Einbinden der Stakeholder ist Voraussetzung zum Erfolg.**

# Erfolgsfaktoren für die Stilllegung

So müsste es vor sich gehen...



Hier sehen Sie das KKM,

**schauen Sie es noch einmal an, bald wird es weg sein!**

Quelle Kontec 2015, 12. Internationales Symposium Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle, Dresden, 25.–27. März 2015, «Erste Stilllegung eines kommerziellen Kernkraftwerks in der Schweiz».  
Idee und Design Julia Heizinger 2015, damals BKW.

## Noch Fragen?