

# Der Weg zur Grünwiese

---

Steven Becker

26. Januar 2018

# Überblick

- Situation in Deutschland
- Weg zum Rückbau
- Der Rückbau
- Kosten

# Situation in Deutschland



- 27 Akws mit 36 Reaktoren
- 38 Forschungsreaktoren
- 2022 letzte Abschaltung

Abbildung 1: Auflistung aller deutschen Akws [karte\_abschaltungen].

## Weg zum Rückbau

---

# Stilllegung

- Stilllegungen müssen beantragt werden
- Zuständigkeitsbereich der Länder
- Unterliegt dem Atomrecht
- 2 Stilllegungsstrategien  
Direkter Abbau und Sicher Einschluss

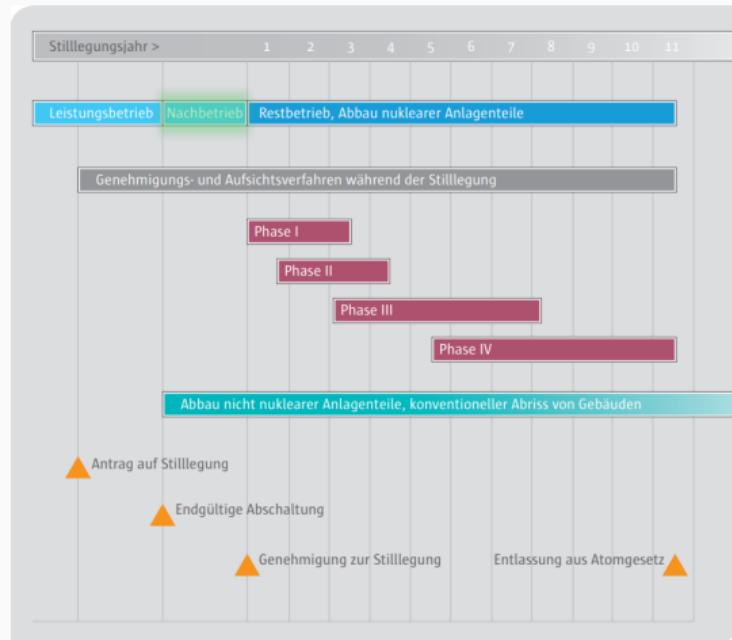


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf eines direkten Abbau[stilllegung\_grs].

## Nachbetriebsphase

- Abschaltung des Kernreaktors
- Dauer von etwa 5 Jahren nach der Abschaltung
- Brennelemente müssen eine Zeit lang weiter gekühlt werden
- radioaktive Betriebsabfälle werden entfernt

Senkung der durchschnittlichen Aktivität

$$10 \times 10^{20} \text{ Bq} \rightarrow 10 \times 10^{16} \text{ Bq}$$

## Stillegungstrategien - Sicherer Einschluss

- Nach der Abschaltung wird der Reaktor in eine wartungsarmen Zustand gebracht
- Kontrollbereich wird versiegelt
- Regelmäßige Kontrollen nötig
- Einschlusszeit von ca. 30 Jahren

## Stillegungstrategien - Direkter Abbau

- Rückbau unmittelbar nach Abschaltung
- Know-How der Miterbeiter bleibt erhalten
- In Deutschland am häufigstens verwendet

# Direkter Abbau - Sicherer Einschluss - Ein Vergleich

Direkter Rückbau	Sicherer Einschluss und späterer Rückbau
<b>Wesentliche Vorteile</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Verfügbarkeit von Personal, das mit der Anlage und der Betriebshistorie vertraut ist.</li><li>• Milderung sozialer Folgen für das Betriebspersonal sowie wirtschaftlicher Folgen für die Region.</li><li>• Gelände kann früher wieder einer anderweitigen Nutzung zugeführt werden.</li></ul>	<b>Sicherer Einschluss und späterer Rückbau</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Radioaktivität klingt mit der Zeit ab; das Volumen an radioaktivem Abfall nimmt ab.</li><li>• Abbauarbeit technisch einfacher durch geringere Strahlenbelastung.</li></ul>
<b>Wesentliche Nachteile</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Höhere noch vorhandene Radioaktivität.</li><li>• Abbauarbeit komplexer aufgrund höherer Strahlenbelastung.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Messtechnischer Aufwand für die radiologische Bewertung nimmt mit der Zeit zu.</li><li>• Für den Rückbau nach dem sicheren Einschluss muss neues qualifiziertes Personal gefunden werden.</li></ul>

Abbildung 3: Vor- und Nachteile von Direkter Abbau und Sicheren Einschluss  
[stilllegung\_grs].

# Der Rückbau

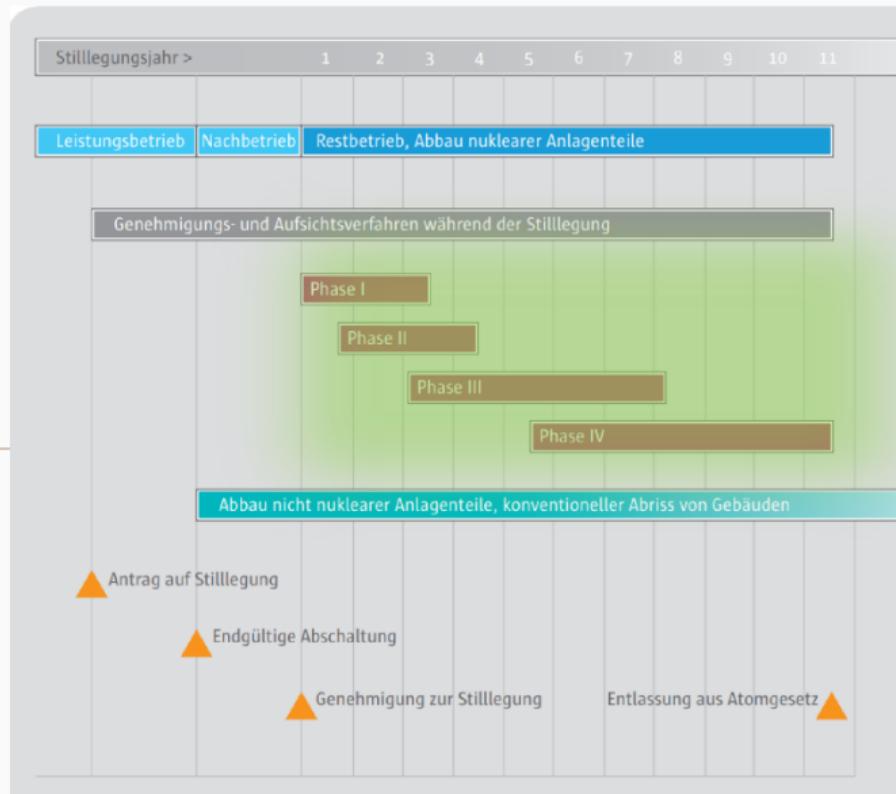


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf eines direkten Abbaus[stilllegung\_grs].

## Phase 1

- Ausbau von nicht mehr benötigten Teilen z. B. Regelstabführungen
- Platz schaffen für spätere Rückbaumaßnahmen
- Rückbauarbeiten im Maschinenhaus

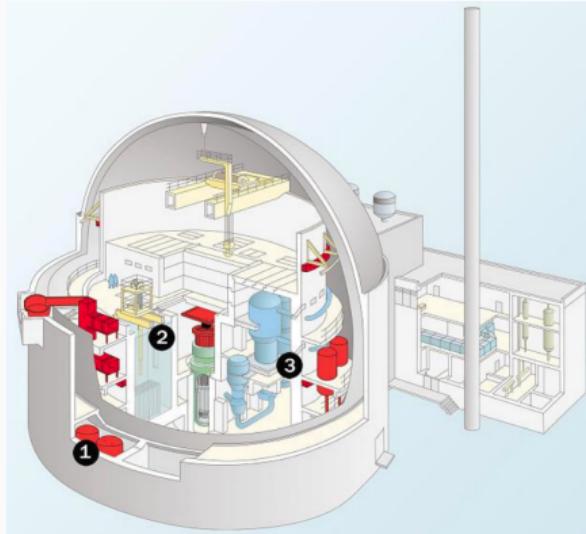
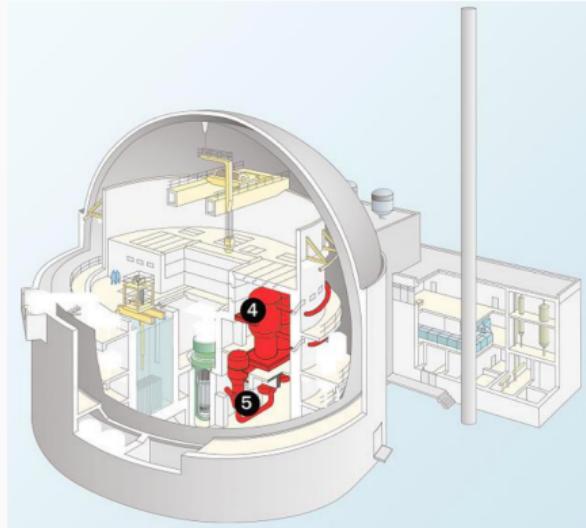


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Bauteile die von der Rückbauphase 1 betroffen sind und ausgebaut werden, am Beispiel eines Druckwasserreaktors [abbau\_grafik\_stade].

## Phase 2



- Dauer von etwa 2 Jahren
- Entfernung des Kühlkreislaufes
- Abbau des Dampferzeugers

**Abbildung 6:** Schematische Darstellung der Bauteile die von der Rückbauphase 2 betroffen sind und ausgebaut werden, am Beispiel eines Druckwasserreaktors [abbau\_grafik\_stade].

## Phase 3

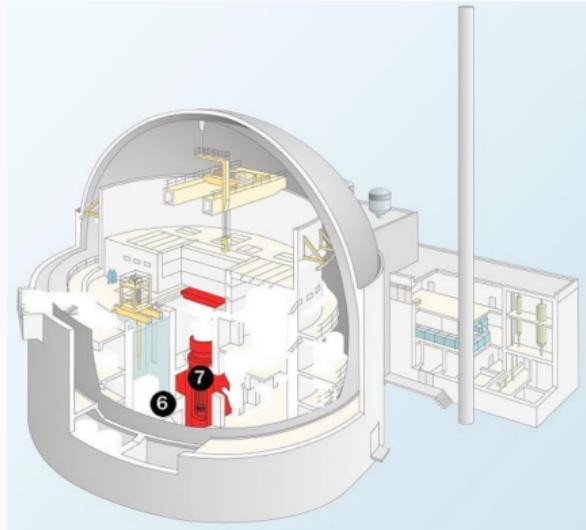


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Bauteile die von der Rückbauphase 3 betroffen sind und ausgebaut werden, am Beispiel eines Druckwasserreaktors [abbau\_grafik\_stade].

- Dauer von etwa 3 Jahren
- Entfernung des Reaktordruckbehälters
- Rückbau des biologischen Schildes

## Phase 4

- Abwasseraufbereitung und Abluftanlage werden entfernt
- Gebäudekontamination
- Atomrechtliche Überwachung endet

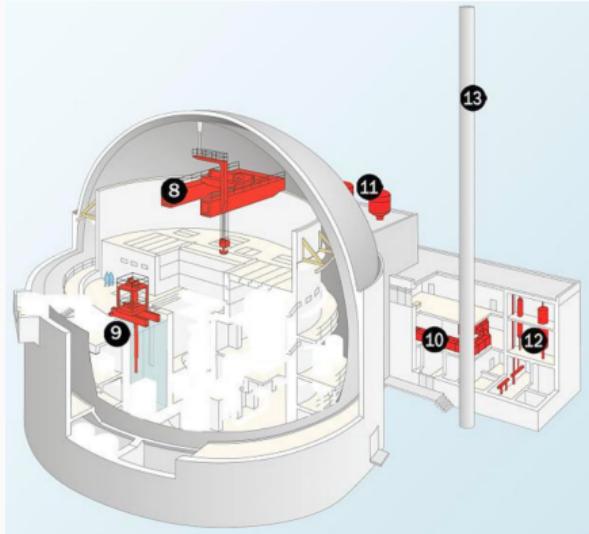
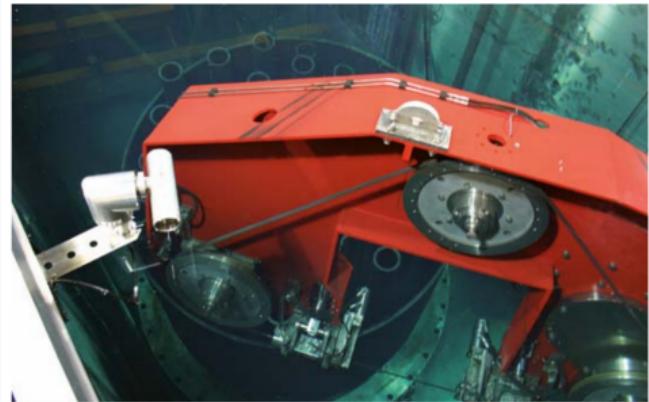


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Bauteile die von der Rückbauphase 4 betroffen sind und ausgebaut werden, am Beispiel eines Druckwasserreaktors [abbau\_grafik\_stade].

# Demontierungsverfahren

- Strahlenexpositionen für das Personal müssen möglichst gering sein
- räumliche Randbedingungen
- Verwendung von mechanische und thermische Verfahren



**Abbildung 9:** Zerlegung des Reaktordruckbehälters unter Wasser mit einer ferngesteuerten Bandsäge [stilllegung\_grs].

# Radioaktiver Abfall - Neutronaktivierung

- Brennelemente
- z. B. Kühlmittel, Beton und Stahl auf Grund von Neutroneneinfang
- Vergößerung der Menge an radioaktiven Abfall

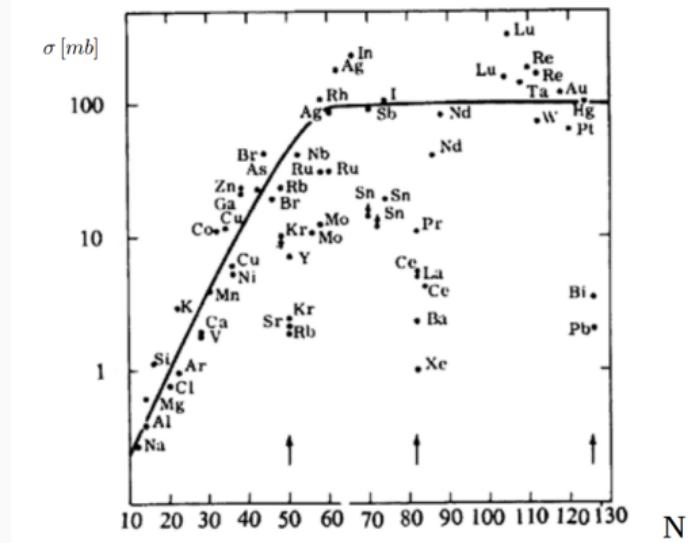


Abbildung 10: Einfangsquerschnitt für Neutronen als Funktion der Neutronenzahl der Kerne [neutroneneinfang].

# Neutronaktivierung

Stahl



Beton



# Radioaktiver Abfall

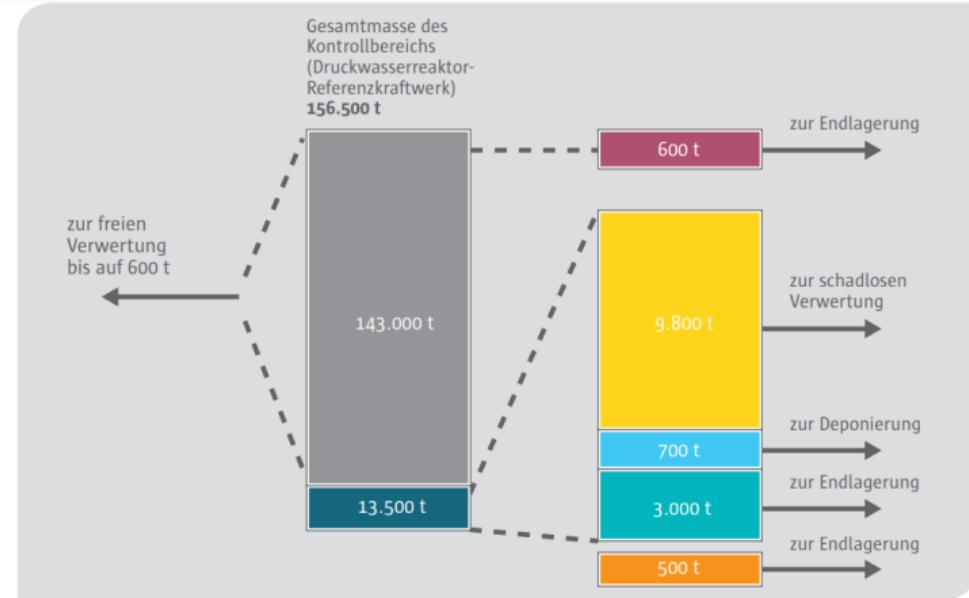


Abb. 07

Grobe Mengenbilanz des Kontrollbereichs eines Kernkraftwerks

- Beton und Armierung
- Anlagenteile
- Radioaktiver Abfall (Beton/Armierung)
- Material zur schadlosen Verwertung
- Abfall zur konventionellen Deponierung
- Radioaktiver Abfall (Anlageteile)
- Radioaktiver Abfall (Sekundärabfall z.B. aus der Dekontamination)

Quelle: VGB

Abbildung 11: Gesamtmaterial im Kontrollbereiches [muell].

# Dekontamination

- Verrinerrung der Radioaktivität
- Aktivierung am stärksten an der Oberfläche
- Verwendung von mechanischen und chemischen Verfahren
- Reinigung der Oberfläche oder Entfernen der obersten Schicht

# Gebäudedekontamination

- mittels Shaver die Wandbeschichtungen abgetragen (vgl. Abb. ??)
- Bagger entfernen kontaminierte Betonstrukturen



**Abbildung 12:** Gebäudekontamination im Kernkraftwerk Greifswald mit Hilfe von Shaver [gebaudedekontamination].

# Freigabe

Nuklid	Uneingeschränkt	Eingeschränkt zur Beseitigung	Eingeschränkt als Metallschrott zum Einschmelzen
Fe-55	200 Bq/g	10.000 Bq/g	10.000 Bq/g
Cs-137	0,5 Bq/g	10 Bq/g	0,6 Bq/g
Pu-241	2 Bq/g	100 Bq/g	10 Bq/g
Am-241	0,05 Bq/g	1 Bq/g	0,3 Bq/g

Abbildung 13: Freigabegrenzwerte für verschiedene Nuklide [stilllegung\_grs].

- sinkt die Aktivität eines Materials unter ein bestimmtes Niveau, kann es freigegeben werden
- Muss für jedes Teil einzeln entschieden werden
- Es gibt verschiedene Freigabestufen

## Kosten

---

## Kosten

- Betreiber bauen Rückstellungen auf, von denen der Rückbau bezahlt werden soll
- 2014 beliefen sich die Rückstellungen auf 37.6 Mrd €
- Kosten für den Rückbau der Kraftwerke in Deutschland wird auf 47.5 Mrd € geschätzt

## Zusammenfassung

- Es existieren zwei Rückbaustrategien: Direkter Abbau Sicherer Einschluss
- Rückbau läuft in vier Phasen ab
- Material wird Dekontaminiert
- Rückbau der Kraftwerke in Deutschland wird auf 47.5 Mrd € geschätzt

