

# Die Grünwiese

---

Steven Becker

16. Januar 2018

# Überblick

- Situation in Deutschland
- Weg zur Stilllegung
- Der Rückbau
- Kosten

# Situation in Deutschland



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

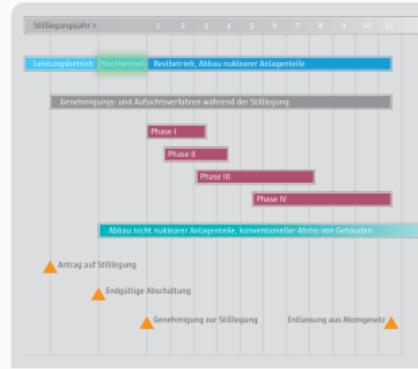
- 2022 letzte Abschaltung
- 27 Akws mit 36 Reaktoren
- 38 Forschungsreaktoren

## Weg zur Stilllegung

---

# Weg zur Stilllegung

- Stillegungen müssen beantragt werden
- Länder sind dafür zuständig
- Unterliegt dem Atomrecht
- 2 Stillegungsstrategien  
Direkter Abbau und Sicher Einschluss



**Abbildung 2:** Zeitlicher Verlauf eines direkten Abbau[1].

## Nachbetriebsphase

- Abschaltung des Kernreaktors
- Dauer von etwa 5 Jahren nach der Abschaltung
- Brennelemente müssen noch 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 - Direkter Abbau

- Rückbau unmittelbar nach Abschaltung
- dauert mindestens 10 Jahre
- wird in Deutschland am häufigstens verwendet

## Stilllegungsstrategien - Sicherer Einschluss

- Nach der Abschaltung wird der Reaktor in eine wartungsarmen Zustand gebracht
- Dauer von etwa 30 Jahren

# 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>	<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 Sicherem Einschluss [1].

## Der Rückbau

---

## Phase 1

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

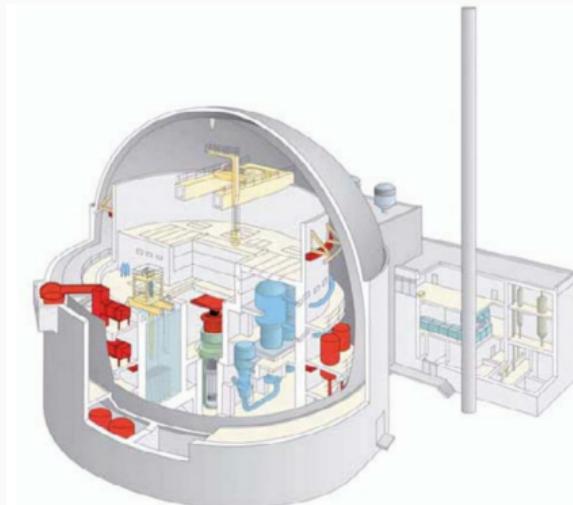
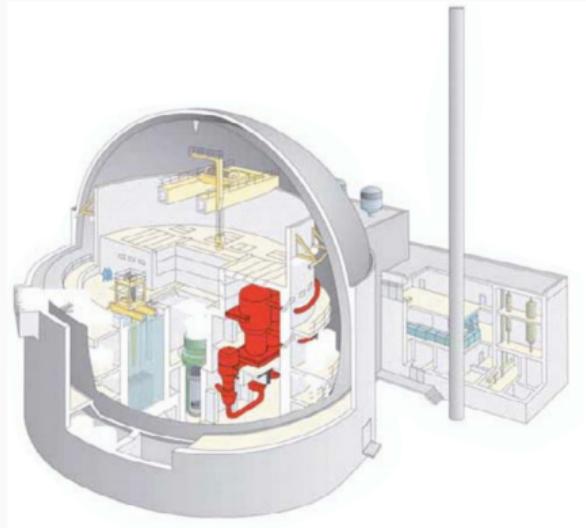


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Bauteile die von der Rückbauphase 1 betroffen sind und ausgebaut werden, am Beispiel eines **Siedewasserreaktors** [1].

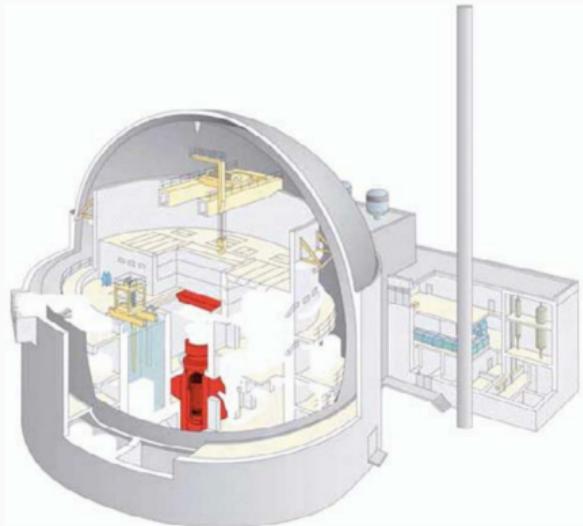
## Phase 2



- Entfernung des Primärkühlkreislaufs
- Abbau des Dampferzeugers

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Bauteile die von der Rückbauphase 2 betroffen sind und ausgebaut werden, am Beispiel eines Siedewasserreaktors [1].

## Phase 3

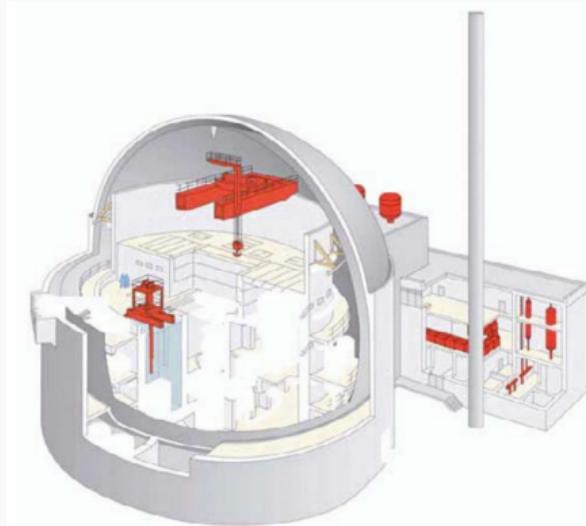


- Entfernung des Reaktordruckbehälters
- Rückbau des biologischen Schildes

Abbildung 6: Schematische Darstellung der Bauteile die von der Rückbauphase 3 betroffen sind und ausgebaut werden, am Beispiel eines Siedewasserreaktors [1].

## Phase 4

- Abbau verbleibender Systeme im Kontrollbereich
- Abwasseraufbereitung und Abluftanlage werden entfernt
- Beendigung der Gebäudekontamination



**Abbildung 7:** Schematische Darstellung der Bauteile die von der Rückbauphase 4 betroffen sind und ausgebaut werden, am Beispiel eines Siedewasserreaktors [1].

# Demontierungsverfahren

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

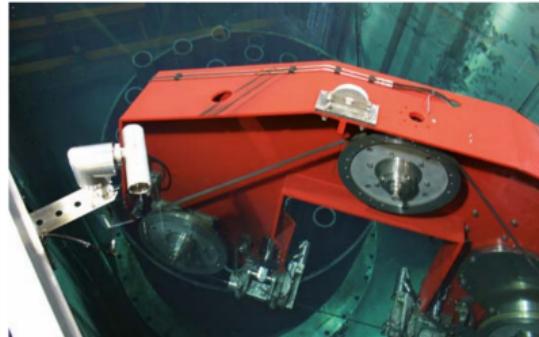


Abbildung 8: Zerlegung des Reaktordruckbehälters unter Wasser mit einer ferngesteuerten Bandsäge [1].

## Radioaktiver Abfall - Neutronaktivierung

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

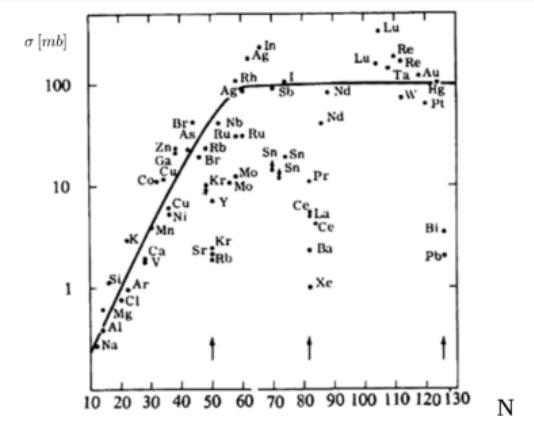


Abbildung 9: Einfangsquerschnitt für Neutronen als Funktion der Neutronenzahl der Kerne [10].

# Neutronaktivierung

Stahl



Beton



# Radioaktiver Abfall

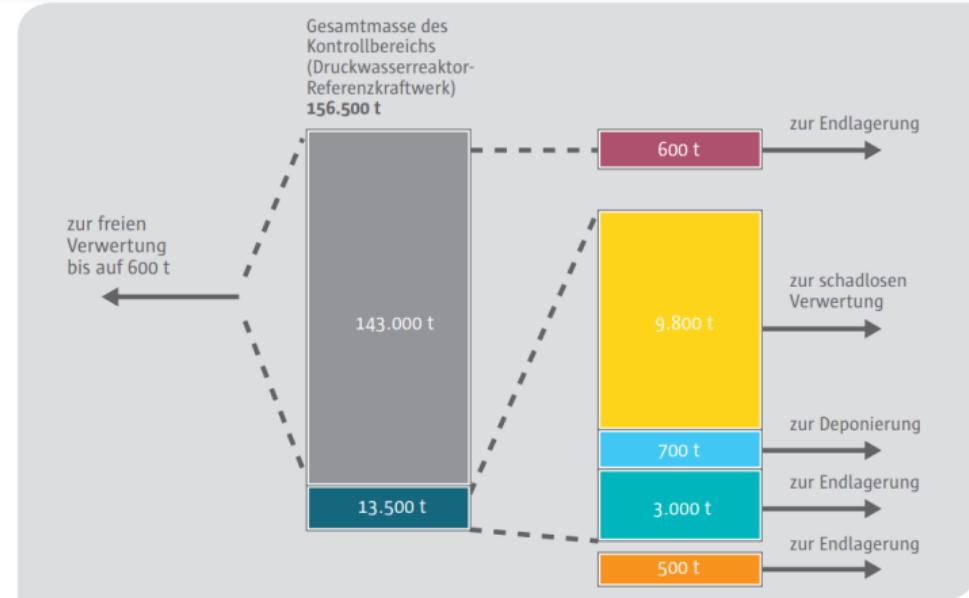


Abb. 07

Grobe Mengenbilanz des Kontrollbereichs eines Kernkraftwerks

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

Quelle: VGB

Abbildung 10: Gesamtmaterial im Kontrollbereiches [2].

# 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. 11)
- Bagger entfernen kontaminierte Betonstrukturen



**Abbildung 11:** Gebäudekontamination im Kernkraftwerk Greifswald mit Hilfe von Shaver [8].

# 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 12: Freigabegrenzwerte für verschiedene Nuklide [1].

- 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

# Literatur

---

- [1] Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH. "Stilllegung kerntechnischer Anlagen". Version 28.12.2017. In: (2012). URL:  
<https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-S-50.pdf>.
- [2] Deutsches Atomforum. *Stilllegung und Rückbau von Kernkraftwerken*. Version 29.12.2017. 2013. URL:  
<http://www.kernfragen.de/sites/default/files/media/publication/file/060rueckbau-von-kkw.pdf>.
- [3] Bau und Reaktorsicherheit Bundesministerium für Umwelt Naturschutz. *Stilllegung kerntechnischer Anlagen*. Version 28.12.2017. 2017. URL:  
<http://www.bmub.bund.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/nukleare-sicherheit/stilllegung/>.

- [4] Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien. AKW-Abriss von Rückstellungen gedeckt – Milliardenrisiken drohen. Version 29.12.2017. 2015. URL: <http://iwr-institut.de/de/presse/presseinfos-kernenergie/201-akw-abriss-von-rueckstellungen-gedeckt-milliardenrisiken-drohen>.
- [5] Greenpeace. AKW-RÜCKBAU - DIE ALTLAST DES NUKLEAREN WAHNS. Version 28.12.2017. URL:  
<https://www.greenpeace.de/themen/energiewende-atomkraft/atomkraftwerke/akw-rueckbau-die-altlast-des-nuklearen-wahns>.
- [6] Nuclear Data Center at KAERI. *Table of Nuclides*. Version 29.12.2017. URL:  
<http://atom.kaeri.re.kr/nuchart/?zlv=2#>.

- [7] Lencer. *Kernkraftwerke in Deutschland, Stand nach dem Atomkonsens vom 30.6.2011*. Version 16.01.2018. 2015. URL:  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kernkraftwerke\\_in\\_Deutschland.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kernkraftwerke_in_Deutschland.png).
- [8] Entsorgungswerk für Nuklearanlagen. *Rückbau Kernkraftwerk Greifswald*. Version 29.12.2017. URL:  
<https://www.ewn-gmbh.de/projekte/rueckbau-kgr/>.
- [9] Martin Volkmer. *Kernenergie Basiswissen*. Version 29.12.2017. URL:  
<http://www.kernenergie.de/kernenergie-wAssets/docs/service/018basiswissen.pdf>.
- [10] Dietrich B. Wegener. "Vorlesung Einführung in die Kern- und Elementarteilchenphysik". Version 29.12.2017. In: (2003).