

Der Weg zur grünen Wiese

Steven Becker

2. Februar 2018

Überblick

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

Situation in Deutschland



- 27 Kkws mit 36 Reaktoren, davon 29 stillgelegt
 - 45 Forschungsreaktoren, davon 37 stillgelegt
 - 2022 letzte Abschaltung

Abbildung 1: Auflistung aller deutschen Kkws [8].

Weg zur Stilllegung

Stilllegung

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

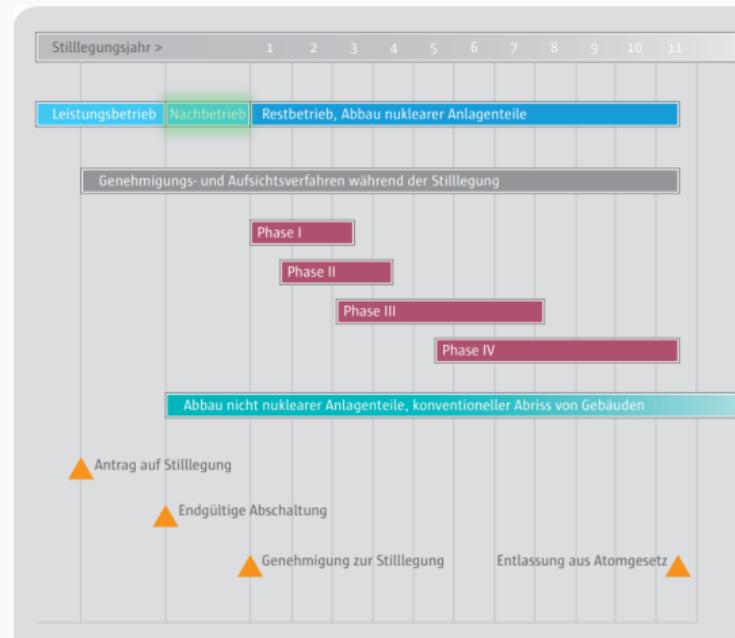


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf eines direkten Abbau[1].

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 der Anlagenteile

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

Stilllegungsstrategien - Sicherer Einschluss

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

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

Abbildung 3: Vor- und Nachteile von Direkter Abbau und Sicherem Einschluss [1].

Der Rückbau

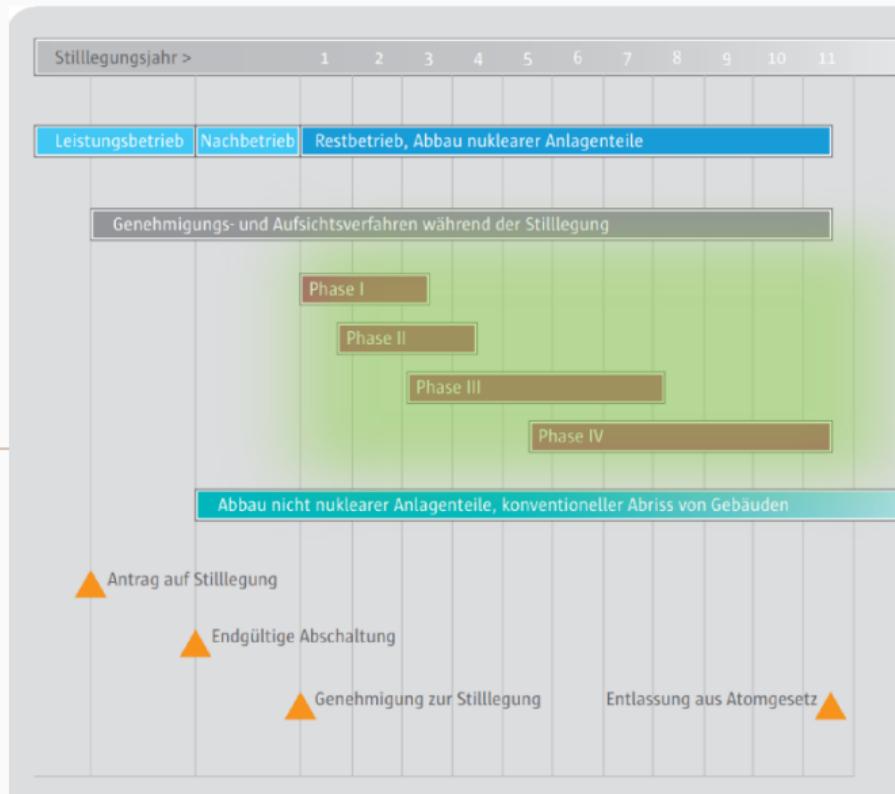


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf eines direkten Abbaus [1].

Phase 1

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

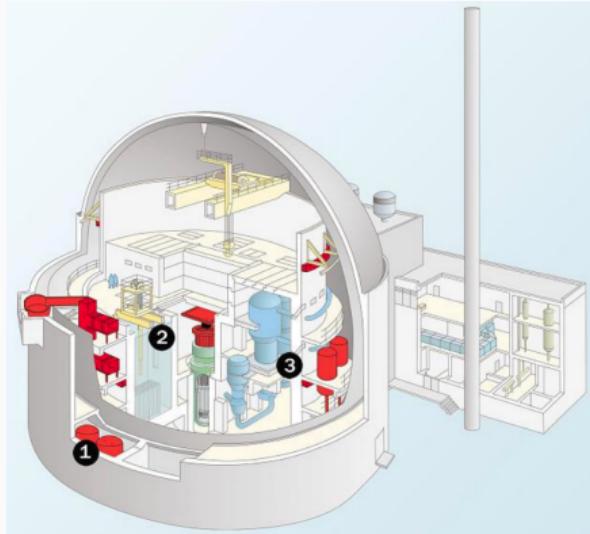
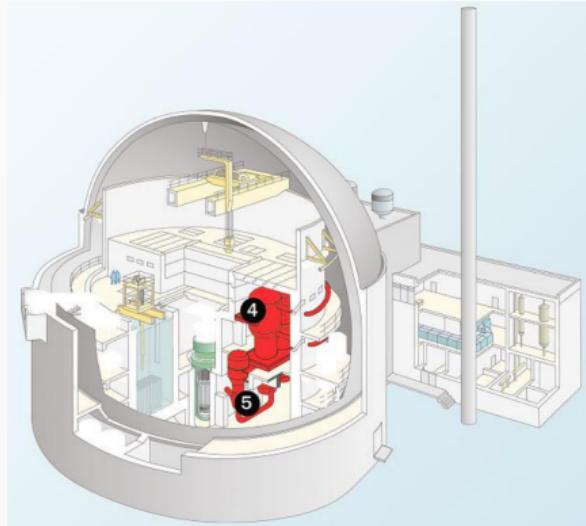


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Bauteile, die von der Rückbauphase 1 betroffen sind und ausgebaut werden, am Beispiel eines Druckwasserreaktors [5].

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 [5].

Phase 3

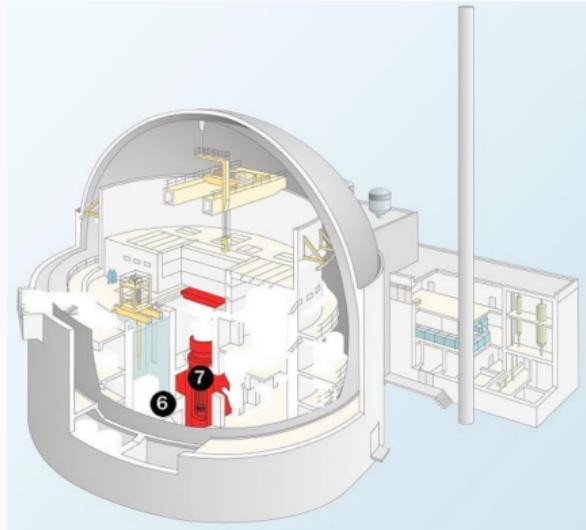


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Bauteile, die von der Rückbauphase 3 betroffen sind und ausgebaut werden, am Beispiel eines Druckwasserreaktors [5].

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

Phase 4

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

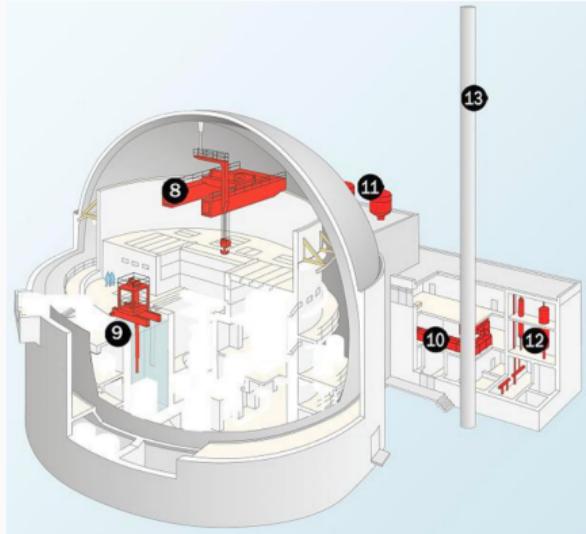


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Bauteile, die von der Rückbauphase 4 betroffen sind und ausgebaut werden, am Beispiel eines Druckwasserreaktors [5].

Demontierungsverfahren

- Strahlenexpositionen für das Personal müssen möglichst gering sein
- Räumliche Randbedingungen müssen berücksichtigt werden
- Verwendung von mechanische und thermische Verfahren z. B. Wasser-Abrasivschneiden

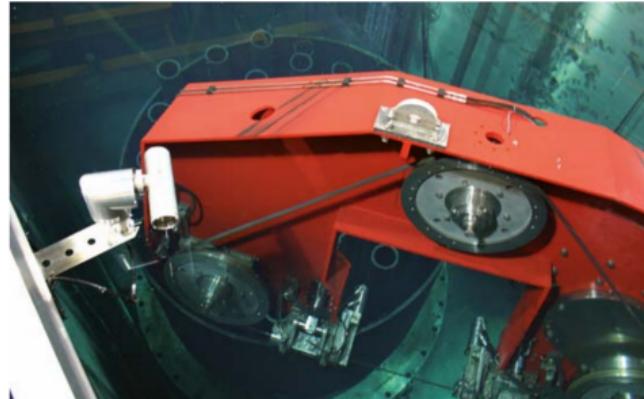


Abbildung 9: Zerlegung des Reaktordruckbehälters unter Wasser mit einer ferngesteuerten Bandsäge [1].

Radioaktiver Abfall - Neutronaktivierung

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

Stahl



Beton



Dekontamination

- Ursache für Kontamination kann z. B. Kontakt mit Kühlwasser sein
- Verringerung der Radioaktivität
- Abtragung von Radionukliden an der Oberfläche
- Verwendung von mechanischen und chemischen Verfahren

Gebäudedekontamination

- mittels Shaver die Wandbeschichtungen abgetragen (vgl. Abb. 10)
- Bagger entfernen kontaminierte Betonstrukturen

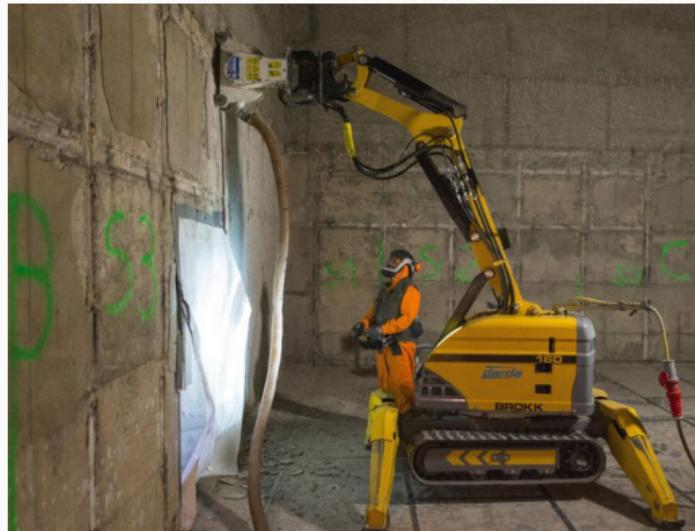


Abbildung 10: Gebäudekontamination im Kernkraftwerk Greifswald mit Hilfe von Shaver [9].

Radioaktiver Abfall

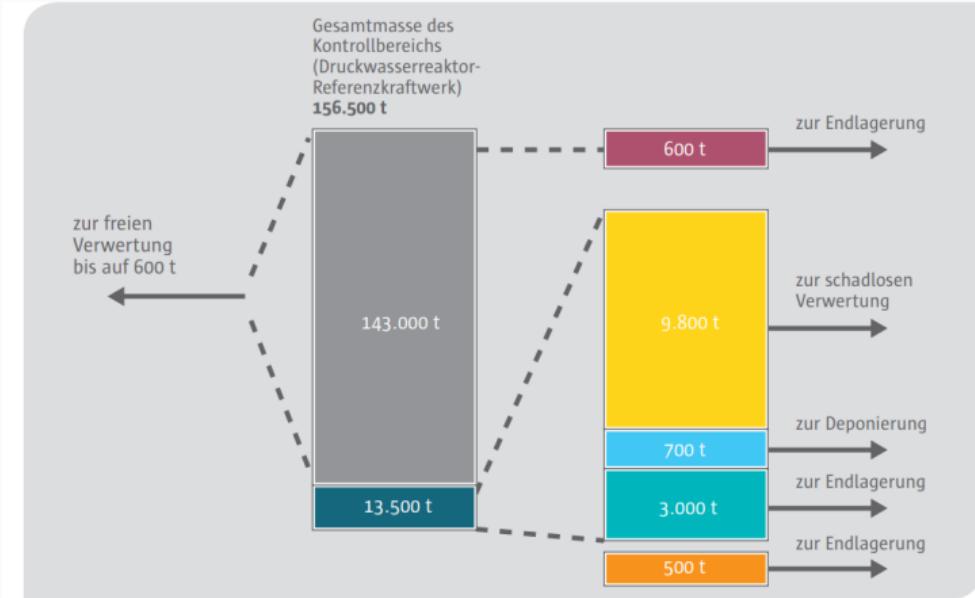


Abb. 07

Grobe Mengenbilanz des Kontrollbereichs *↗* eines Kernkraftwerkes

- 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: Menge des Mülls der im Kontrollbereich eines Druckwasserreaktors entsteht [2].

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

- Rückbau eines Reaktors $\approx 1 \text{ Mrd } \text{€}$
- Betreiber bauen Rückstellungen auf, von denen der Rückbau bezahlt werden soll
- *Fonds zur Finanzierung der kerntechnischen Entsorgung* finanziert Zwischen- undendlagerung
- Kosten für den Rückbau der Kraftwerke in Deutschland wird auf $\sim 40 \text{ Mrd } \text{€}$ geschätzt

Zusammenfassung

- 2022 wird das letzte Kkw abgeschaltet
- Es existieren zwei Rückbaustrategien: Direkter Abbau und Sicherer Einschluss
- Rückbau läuft in vier Phasen ab
- Es kommen verschiedene Dekontaminationstechniken zum Einsatz
- Rückbaukosten der Kraftwerke in Deutschland wird auf ~ 40 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] FOCUS ONLINE und E.on. “Brennpunkt, Phase 1 bis Phase 4”. Version 26.01.2018. In: (2011).
- [6] 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>.
- [7] Nuclear Data Center at KAERI. *Table of Nuclides*. Version 29.12.2017. URL: <http://atom.kaeri.re.kr/nuchart/?zlv=2#>.

- [8] 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.
- [9] Entsorgungswerk für Nuklearanlagen. *Rückbau Kernkraftwerk Greifswald*. Version 29.12.2017. URL:
<https://www.ewn-gmbh.de/projekte/rueckbau-kgr/>.
- [10] Martin Volkmer. *Kernenergie Basiswissen*. Version 29.12.2017. URL:
<http://www.kernenergie.de/kernenergie-wAssets/docs/service/018basiswissen.pdf>.
- [11] Dietrich B. Wegener. “Vorlesung Einführung in die Kern- und Elementarteilchenphysik”. Version 29.12.2017. In: (2003).

- [12] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. *Gesetz zur Neuordnung der Verantwortung der kerntechnischen Entsorgung: Fakten und ergänzende Informationen*. Version 01.02.2018. URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/gesetz-zur-neuordnung-der-verantwortung-der-kerntechnischen-entsorgung-fakten-und-ergaenzende-informationen.pdf?__blob=publicationFile&v=12.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit