

Gliederung

Allgemein

🚧 Wie siehts im Moment aus

In Deutschland wurden bisher 19 Leistungs- und Prototyp-Reaktoren, über 30 Forschungsreaktoren sowie elf Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung abgebaut beziehungsweise befinden sich in verschiedenen Phasen der Stilllegung

🚧 Stilllegungsstrategien

Direkter Abbau: Bei dieser Stilllegungsstrategie wird eine kerntechnische Anlage unmittelbar nach der endgültigen Abschaltung beseitigt, das heißt alle Gebäudeteile werden entfernt und der natürliche Ausgangszustand in Form der sogenannten "Grünen Wiese" wird wieder hergestellt, oder die Gebäude werden noch nach der Entlassung aus der atomrechtlichen Überwachung weiter verwendet (industrielle Nachnutzung). *Erfahrungsgemäß dauert dieser Prozess mehrere Jahre, im Falle des Abbaus eines Kernkraftwerks mindestens ein Jahrzehnt.* Nach Beendigung des Abbaus der Anlage kann gegebenenfalls noch ein Lager für radioaktive Abfälle oder für abgebrannte Brennelemente bis zu deren Ablieferung an ein Endlager verbleiben.

Bis die Brennelemente im Abklingbecken so weit heruntergekühlt sind, dass sie in Castorbehälter verpackt und in ein Zwischenlager gebracht werden können, vergehen rund fünf Jahre

Sicherer Einschluss: Bei dieser Stilllegungsstrategie wird eine kerntechnische Anlage nach der endgültigen Abschaltung in einen wartungsarmen sicheren Zustand überführt und erst nach einer Periode des sicheren Einschlusses von beispielsweise 30 Jahren abgebaut. *In Deutschland wurde der sichere Einschluss als Stilllegungsstrategie bisher selten angewandt und ist derzeit bei keiner stillzulegenden Anlage beabsichtigt.*

🚧 Abbautechniken:

Dekontaminationstechniken, Abbau- und Zerlegetechniken sowie weitere Techniken, etwa zu Aktivitätsmessungen und zur Abfallkonditionierung.

Berücksichtigen folgende Kriterien:

Strahlenschutzaspekte, mit dem Ziel, die Strahlenexposition des Personals möglichst gering zu halten,

Eignung und Effektivität des Verfahrens,

die Möglichkeit einer Freigabe radiologisch unbedenklicher Stoffe,
Verringerung des Volumens der radioaktiven Abfälle und räumliche
Randbedingungen.

Schwer verstrahlte Anlagenteile wie der Reaktordruckbehälter oder der Kernmantel, der durch den Neutronenbeschuss selber zur Strahlenquelle geworden ist, müssen per Fernbedienung von Robotern zerlegt werden, teils geschieht dies unter Wasser, denn Wasser kühlt nicht nur sondern schirmt auch die Strahlung ab. (Greenpeace)

Im AKW Stade wog der stählerne Druckbehälter dem Konzern E.on zufolge 253 Tonnen, die in 273 Teile zerlegt und in 60 Behälter verpackt wurden. (Greenpeace)

Kosten

- ✚ je nach AKW-Größe ab ca. 500 Millionen Euro aufwärts - kommen die vier großen Energiekonzerne auf. (greenpeace)
- ✚ ie müssen während des Betriebs ihrer AKW Rückstellungen bilden. Mit Stand Dezember 2010 sollen die Unternehmen knapp 29 Milliarden Euro zurückgelegt haben. Der Staat kann auf dieses Geld nicht zugreifen (greenpeace)
- ✚ Geht ein Unternehmen pleite, muss der Steuerzahler einspringen. Zudem sind die Rückstellungen steuerfreies Kapital, das für Investitionen in anderen Bereichen genutzt wird. Damit verschaffen die Rückstellungen den Konzernen klare Wettbewerbsvorteile gegenüber anderen Energieversorgern. (greenpeace)
- ✚ Die Rückbauarbeiten dauern in der Regel länger, das kostet: in Beispiel: Wenn das AKW Greifswald zerlegt ist, werden die Steuerzahler dafür nach bisherigen Schätzungen über vier Milliarden Euro berappt haben. (greenpeace)
- ✚ Die Kosten für den Abbau einer kommerziellen Anlage mit Druckwasserreaktor liegen bei etwa 700 Millionen Euro. Da Siedewasserreaktoren einen systembedingt größeren Kontrollbereich besitzen, liegen die Kosten für eine Stilllegung dieses Reaktortyps etwas höher. (<https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-S-50.pdf>)
- ✚

Betriebsphasen

+ Betriebsphase:

Während des Anlagenbetriebs befinden sich die Brennelemente im Reaktordruckbehälter, und der Prozess der Kernspaltung läuft. Das Aktivitätsinventar in den Brennelementen ist um das Zehn- bis Hunderttausendfache höher als das Aktivitätsinventar, das sich sonst noch in der Anlage findet. Ausgedrückt in der Maßeinheit der Radioaktivität, dem Becquerel, liegt sie bei 10^{20} bis 10^{21} Bq.

+ Nachbetriebsphase

Mit der endgültigen Abschaltung des Kernreaktors ist die Anlage drucklos bei niedriger Temperatur. Auch wenn der Prozess der Kernspaltung nicht mehr läuft, müssen die Brennelemente noch einige Jahre weiter gekühlt werden. Insbesondere, wenn die bestrahlten Brennelemente aus der Anlage abtransportiert bzw. am Standort zwischengelagert werden (u Abb. 21), reduziert sich das Gefährdungspotenzial deutlich. Dies geschieht üblicherweise während der Nachbetriebsphase. In dieser Phase werden oft auch die radioaktiven Betriebsabfälle entfernt, die ebenfalls einen großen Anteil des Aktivitätsinventars bilden. Diese Maßnahmen reduzieren das radioaktive Inventar auf etwa ein Zehntausendstel des ursprünglichen Wertes (es verbleibt nun noch eine Aktivität von etwa 10^{16} bis 10^{17} Bq). Dieses Aktivitätsinventar ist zum größten Teil als Aktivierung fest in den kernnahen Strukturmaterialien der Anlage eingebunden. Es kann allenfalls in geringem Umfang mobilisiert werden. (<https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-S-50.pdf>)

+ Restbetriebs- und Abbauphase

Bis zur Stilllegung

+ Die Zuständigkeit für die Gewährung, Zurücknahme und den Widerruf von atomrechtlichen Genehmigungen sowie für die atomrechtliche Aufsicht liegt bei den Bundesländern. (<https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-S-50.pdf>)

+ In allen Bereichen der Anlage werden hierzu Messungen (u Abb. 16) durchgeführt, und es werden Proben genommen und ausgewertet. Danach kann der endgültige Plan für den Abbau erstellt werden. (<https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-S-50.pdf>)

Verfahren wie wird stillgelegt

- ✚ Praktisch alle ausgebauten Teile werden in leicht handhabbare Stücke zerlegt und, wenn nötig, dekontaminiert (<https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-S-50.pdf>)
- ✚ Um die Strahlenbelastung des Personals zu reduzieren, werden vor Beginn der Abbauarbeiten Kreisläufe und Räume dekontaminiert. Dabei werden oft nicht nur die oberflächlich abgelagerten Radionuklide abgetragen, sondern auch eine dünne Schicht des Materials selbst. Dadurch wird auch Radioaktivität entfernt, die in Risse eingedrungen ist oder sich an unzugänglichen Stellen abgelagert hat.
(<https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-S-50.pdf>)
- ✚ Man unterscheidet im Allgemeinen mechanische und chemische Dekontaminationsverfahren. Chemische Verfahren arbeiten z. B. in einem weiten Bereich schwacher und starker organischer und anorganischer Säuren (u Abb. 25). Auch mehrphasige, sehr spezialisierte Prozesse werden eingesetzt, ebenso sogenannte Komplexbildner, Schäume oder Gele. Relativ einfache mechanische Verfahren sind z. B. Bürsten und Saugen, stärker wirken das Hochdruckreinigen mit Wasser oder Dampf (u Abb. 26). Verfahren mit Oberflächenabtrag sind etwa Abraspeln, Schaben, Nadeln oder Abschälen. Dazu zählen auch verschiedene Strahlverfahren mit festen abrasiven Medien (Schleifmitteln) wie Sand oder Stahlkugeln (<https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-S-50.pdf>)
- ✚ Auch die Nachzerlegung bereits abgebauter großer Werkstücke, etwa zur Dekontamination oder zur Freigabemessung, ist eine wichtige Aufgabe. Neben verschiedenen Metallsorten ist auch Beton zu zerlegen, der – wie etwa beim biologischen Schild oder bei einigen Gebäudestrukturen – stark mit Armierungsstahl durchsetzt sein kann. Wenn in einem Bereich mit hoher Strahlenbelastung oder an hochaktiven Teilen gearbeitet werden muss, wie etwa im aktivierten kernnahen Bereich, dann kann nicht direkt manuell gearbeitet werden, sondern fernbedient – oft unter Wasser (u Abb. 28). Das Wasser bildet eine wirksame Abschirmung gegen die Strahlung, die von den zu zerlegenden Materialien ausgeht. (<https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-S-50.pdf>)
- ✚ Großkomponenten wie Dampferzeuger oder Reaktordruckbehälter werden nicht immer vor Ort zerlegt, sondern können zur weiteren Verarbeitung oder zur Abklinglagerung im Ganzen transportiert werden (u Abklinglagerung, Seite 26). So wurden die Dampferzeuger des Kernkraftwerks Stade (KKS) nach einer ersten Dekontamination zur Weiterverarbeitung nach Schweden verschifft (u Abb. 30). Dort wurden sie zerlegt, weiter dekontaminiert und stückweise eingeschmolzen. Der Großteil der radioaktiven Stoffe befindet sich danach in der Schlacke, so dass der Stahl überwiegend wieder verwertet werden kann. Der radioaktive Restabfall, der nur einen geringen Teil der Gesamtmasse ausmacht, wird wieder nach Deutschland zurückgebracht. (<https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-S-50.pdf>)

✚ Der Rückbau selbst kann erst nach Erteilung der Stilllegungsgenehmigung beginnen.
(<http://www.kernfragen.de/sites/default/files/media/publication/file/060rueckbau-von-kkw.pdf>)

✚ Demontage in Etappen

Demontage von kontaminierten Systemen und Komponenten (Phase I): Der Ausbau von Bauteilen wie Flutwasserbehälter, Regelstabführungen oder Druckspeicher schafft Platz für spätere Arbeiten. Die Demontage von Grosskomponenten wird vorbereitet. Bei Siedewasserreaktoren werden auch die Turbinen und andere Anlagen im Maschinenhaus ausgebaut. Grosse Anlagenteile wie die Dampferzeuger oder das Primärkühlsystem mit seinen Pumpen und Leitungen werden entfernt. (<http://www.kernfragen.de/sites/default/files/media/publication/file/060rueckbau-von-kkw.pdf>)

In *Phase 2* wurden die Primärkühlmittleitungen einschließlich der Pumpen sowie die Dampferzeuger abgebaut.

(<http://www.kernfragen.de/sites/default/files/media/publication/file/060rueckbau-von-kkw.pdf>)

Phase 3 galt den am stärksten radioaktiv belasteten Komponenten, nämlich dem Reaktordruckbehälter mit den Kerneinbauten und seiner Betonabschirmung, dem „Biologischen Schild“

(<http://www.kernfragen.de/sites/default/files/media/publication/file/060rueckbau-von-kkw.pdf>)

In *Phase 4* wurden alle noch verbliebenen Systeme im Kontrollbereich abgebaut, zuletzt die Abwasseraufbereitungsanlage und die Abluftanlage. Die Reinigung und Dekontamination der Gebäudestrukturen ist noch im Gange. Wenn die Anforderungen an die Freigabe erfüllt sind, kann der Kontrollbereich aufgehoben und die rückgebaute Anlage aus dem Atomgesetz entlassen werden.

(<http://www.kernfragen.de/sites/default/files/media/publication/file/060rueckbau-von-kkw.pdf>)

Freigabeoptionen

Bei der Freigabe existieren eine Reihe von Optionen, die durch die Strahlenschutzverordnung vorgegeben sind:

- Nach einer »uneingeschränkten Freigabe« ist das Material im Sinne des Atomrechts nicht mehr radioaktiv und kann für beliebige Zwecke wieder verwendet werden. Daher sind die Freigabewerte (u. Tab. 2) für die uneingeschränkte Freigabe im Vergleich zu anderen Optionen extrem niedrig, um die Sicherheit unter allen denkbaren Nutzungsmöglichkeiten des Materials zu gewährleisten.
- Bei einer »eingeschränkten Freigabe zur Beseitigung« muss das Material an eine geeignete konventionelle Deponie oder Verbrennungsanlage abgegeben werden. Dafür kommen aufgrund der

Abfallgesetzgebung nur wenige Materialarten, z. B. Isolierwolle, organisches Material usw. in begrenzten Mengen in Frage.

- Weitere Optionen der »eingeschränkten Freigabe« bestehen z. B. für Metallschrott, welcher zum Einschmelzen in einem konventionellen Stahlwerk oder einer Gießerei gelangen soll, für große Mengen an Bauschutt und Bodenaushub, für die Gebäude der Anlage sowie für das Anlagengelände. (<https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-S-50.pdf>)

Radioaktiver Abfall

- + Alles Material, das beim Abbau einer kerntechnischen Anlage anfällt und nicht freigegeben oder an andere kerntechnische Anlagen abgegeben werden kann, ist radioaktiver Abfall. (<https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-S-50.pdf>)
- + Bezogen auf die Gesamtmasse des Kontrollbereichs einer Anlage, die bei einem Leistungsreaktor etwa 150 000 Tonnen beträgt, liegt das Massenaufkommen des radioaktiven Abfalls aus Stilllegungen im Bereich weniger Prozent.
- + Endlagerung

Wortklärung

- + Betriebsabfall

Abfall, radioaktiver, Abfallprodukte mit noch nicht abgeklungener Restradioaktivität, die im Brennstoffkreislauf eines Kernreaktors, als Reaktorbetriebsabfälle sowie beim Einsatz von Radionukliden in Industrie, Forschung und Medizin entstehen.

- + Armierung, zum Beispiel Stahlstreben im Stahlbeton