

The background image shows a nuclear power plant with a prominent white containment dome and a tall chimney stack, situated behind a large field of golden wheat. The sky is blue with scattered clouds.

STILLEGUNG KERNTÉCHNISCHER ANLAGEN



Bundesministerium
für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

STILLEGUNG
KERNTECHNISCHER
ANLAGEN

GRS-S-6o

ISBN 978-3-949088-40-7

INHALT

	Einführung	6
	Die Geschichte der Stilllegung	8
1	ÜBERBLICK – 50 JAHRE STILLEGUNG	10
	1.1 Leistungs- und Prototypreaktoren	11
	1.2 Forschungsreaktoren	14
	1.3 Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung	14
2	STILLEGUNGSSTRATEGIEN	18
3	ABBAU EINER KERNTÉCHNISCHEN ANLAGE	22
	3.1 Abbauvarianten	23
	3.2 Einflussfaktoren auf den Stilllegungsfortgang	27
	3.3 Alternativen zur Zerlegung vor Ort	30
4	GENEHMIGUNGS- UND AUFSICHTSVERFAHREN	32
	4.1 Der rechtliche Rahmen	33
	4.2 Genehmigungsverfahren	35
	4.3 Aufsichtsverfahren	39
5	SICHERHEIT UND STRAHLENSCHUTZ	40
	5.1 Sicherheitsbetrachtungen	41
	5.2 Strahlenschutz	44
	5.3 Meldepflichtige Ereignisse	47
6	TECHNISCHE VERFAHREN	48
	6.1 Technische Dekontaminationsverfahren	49
	6.2 Technische Trenn- und Abbauverfahren	50
	6.3 Digitalisierung und Automatisierung in der Stilllegung	54

IMPRESSUM

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH

Autoren: Thomas Braunroth, Matthias Dewald, Salim Gülez, Przemyslaw Imielski, Christian Lambertus, Sebastian Schneider, Richard Spanier, GRS

Konzeption, Grafik und Layout:
Annika Böker-Nelles, GRS

Redaktion:
Sven Dokter, Jan Klebert, GRS

Dieser Bericht ist von der GRS im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit im Rahmen des Vorhabens 4722Ro1265 erstellt worden.

März 2026



→ www.grs.de

Bildnachweise:

Adobe Stock/Michal: S. 18;
Alamy/Hans Blosssey: S. 10;
Bundesamt für Strahlenschutz: S. 39;
EnBW Energie Baden-Württemberg AG: S. 54;
EWN Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH: S. 15 (u.), S. 21, S. 51 (o. re. und u.), S. 63;
GRS: S. 25, S. 47;
IMAGO Images/xThomasxTrutschelx: S. 40, S. 43 (li. u.), S. 56;
iStock: Goodboy Picture Company: S.38 (o.); kasto80: S. 38 (u.); aeduard: S. 65; JacobH: S. 70;
JEN Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen mbH: S. 13 (u. re.), S. 31 (u.), S. 48;
Karlsruher Institut für Technologie: S. 11, S. 24;
Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe GmbH: S. 22;
Bernhard Ludewig: S.8 (li. und re.), S. 13 (o. und u. li.), S. 15 (o.), S. 20, S. 26, S. 31 (o. re.), S. 43 (o. und u. re.), S. 51 (o.), S. 52 (o.), S. 61 (alle), S. 63 (o.), S. 64 (o.), S. 66, S. 74;
PreussenElektra GmbH: Titelbild, S. 28, S. 29, S. 31 (o. li.), S. 32, S. 52 (u.), S. 55 o. (Evamaria König), S. 55 (u.) (Christopher MacNeil);
Stocksy/Lucas Saugen Photography LLC: S. 92;
TEPCO: S. 9 (M.);
Vattenfall AB: S. 64 (u.).

7 RESTSTOFF- UND ABFALLMANAGEMENT _____ 56

- 7.1 Strategien im Reststoff- und Abfallmanagement — 59
- 7.2 Freigabe _____ 60
- 7.3 Radioaktiver Abfall _____ 63

8 KOSTEN UND FINANZIERUNG _____ 66

- 8.1 Finanzierung für kommerziell betriebene Kernkraftwerke _____ 67
- 8.2 Finanzierung aus Mitteln der öffentlichen Hand — 69

9 INTERNATIONALES _____ 70

- 9.1 Übereinkommen zur nuklearen Entsorgung — 71
- 9.2 IAEA _____ 71
- 9.3 OECD/NEA _____ 72
- 9.4 Europa _____ 73
- 9.5 WENRA _____ 73

10 STILLEGUNG – GESTERN UND MORGEN _____ 74

11 ANHANG _____ 76

- Liste zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen in Deutschland _____ 77
- Kurzbeschreibung ausgewählter Stilllegungsprojekte _____ 80

GLOSSAR _____ 86

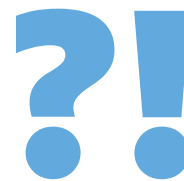
EINFÜHRUNG

Die Stilllegung¹ kerntechnischer Anlagen ist eine Aufgabe, der sich alle Länder stellen müssen, welche die Kernenergie nutzen. Auch während der Stilllegung kann von den kerntechnischen Anlagen eine Gefährdung ausgehen, beispielsweise durch während des Anlagenbetriebs entstandene radioaktive Stoffe; daher müssen diese Anlagen so stillgelegt und die radioaktiven Abfälle so entsorgt werden, dass der Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet wird.

Fachsprachlich werden unter dem Begriff „Stilllegung“ alle Maßnahmen verstanden, die nach Erteilung der Stilllegungs- und Abbaugenehmigung durchgeführt werden und dem Abbau einer kerntechnischen Anlage bis zum Erreichen des Stilllegungszieles dienen. In Deutschland ist das Stilllegungsziel immer die Entlassung des Anlagengeländes aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung, sodass das Gelände ohne Einschränkungen, die auf den Betrieb der kerntechnischen Anlage zurückzuführen sind, wieder zur Verfügung steht.

Nach Angaben der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEA) mit Stand September 2025 wurden weltweit bislang 213 Kernkraftwerke (KKW), 589 Forschungsreaktoren und 332 Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung dauerhaft außer Betrieb genommen. Deutschland ist mit 36 endgültig abgeschalteten Leistungs- und Prototypreaktoren und 40 außer Betrieb genommenen Forschungsreaktoren im internationalen Vergleich eines der Länder, in dem sehr viel Erfahrung mit der Stilllegung kerntechnischer Anlagen vorliegt. Die Stilllegung der ersten Kernkraftwerke wurde bereits in den 1970er Jahren begonnen. Die erste vollständig zurückgebaute Anlage war das Kernkraftwerk Niederaichbach: Die Stilllegung begann im Jahr 1975, der natürliche Ausgangszustand wurde 1995 in Form der sogenannten „Grünen Wiese“ wiederhergestellt.

¹ „Stilllegung“ wird in dieser Broschüre nach Definition des „Leitfadens zur Stilllegung“ generell im weiteren Sinne als Oberbegriff für sämtliche stilllegungsgerichteten Maßnahmen (einschließlich sicherem Einschluss und Abbau) gebraucht. Der Begriff „Stilllegung und Abbau“ wird hier ausschließlich im Zusammenhang mit Genehmigungsverfahren nach § 7 AtG verwendet.



GRÜNE WIESE

Als Stilllegungsziel wird häufig der Begriff „Grüne Wiese“ genannt. Dies meint den natürlichen Ausgangszustand des ehemaligen Anlagengeländes, das frei von Einschränkungen für die weitere Nutzung zur Verfügung steht. Alternativ ist auch die sogenannte „Braune Wiese“ als Stilllegungsziel möglich. Damit ist eine industrielle Nachnutzung des Geländes bzw. verbleibender Strukturen gemeint. In beiden Fällen werden alle durch den Betrieb der kerntechnischen Anlage entstandenen radioaktiven Stoffe entfernt. Dies wird durch die sogenannte Freigabe sichergestellt [Kapitel 7.2](#).

STILLEGUNG AUF DEN PUNKT GEBRACHT

1975

WURDE DIE ERSTE
STILLEGUNGSGENEHMIGUNG
FÜR EIN KERNKRAFTWERK IN
DEUTSCHLAND ERTEILT.

76

LEISTUNGS-, PROTOTYP-
UND FORSCHUNGSREAKTOREN
WURDEN IN DEUTSCHLAND
BISLANG ENDGÜLTIG
ABGESCHALTET.

2024

HAT DAS LETZTE DER
DEUTSCHEN KERNKRAFTWERKE
EINE STILLEGUNGS-
GENEHMIGUNG ERHALTEN.

„Die Hauptziele der Stilllegung bestehen darin, kerntechnische Anlagen, die das Ende ihrer Nutzungsdauer erreicht haben, in einen Zustand zu versetzen, in dem sie keine unannehmbaren Risiken für die Öffentlichkeit, die Arbeitnehmer oder die Umwelt darstellen, und die Anlagen und Standorte für neue Zwecke wiederzuverwenden.“

„Policies and Strategies for the Decommissioning of Nuclear and Radiological Facilities“, IAEA

DIE GESCHICHTE DER STILLEGUNG SEIT FÜNF JAHRZEHNTE...



„ATOMEI“ MÜNCHEN

1957

ERSTER REAKTOR

Am 31. Oktober 1957 wird als erster Reaktor in Deutschland der Forschungsreaktor der TU München – das „Atomei“ – in Betrieb genommen.



ERSTE STILLEGUNGEN

1970er

Bereits in den 1970er Jahren gingen Kernkraftwerke in Stilllegung.

NEUBAU

36



KERNKRAFTWERKE

40



FORSCHUNGSREAKTOREN

Im Laufe der Zeit entstehen in Deutschland 36 Kernkraftwerke und 40 Forschungsreaktoren.

KKW NIEDERAICHBACH



1995

ERSTE ANLAGE VOLL-
STÄNDIG ABGEBAUT

Das erste Kernkraftwerk, KKW Niederaichbach, wurde vollständig abgebaut und der natürliche Ausgangszustand – die sogenannte „Grüne Wiese“ – wiederhergestellt.



– AUSBLICK –
STILLEGUNG
IN ZUKUNFT



MEHR
AUF SEITE 74

REAKTORUNFALL IN FUKUSHIMA

Am 11. März 2011 löst ein Tsunami im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Daiichi einen katastrophalen Unfall mit Kernschmelzen in drei Reaktorblöcken aus.



FUKUSHIMA DAIICHI

ÄNDERUNG DES ATOMGESETZES



2011

LETZTE KERNKRAFT- WERKE ABGESCHALTET

Im April 2023 wurden die letzten drei deutschen Kernkraftwerke – Isar 2, Emsland und Neckarwestheim 2 – gemäß Atomgesetz endgültig abgeschaltet.

2023



STILLEGUNGSGENEHMIGUNGEN FÜR ALLE KERNKRAFTWERKE

2025

2002

Mit der Novelle des Atomgesetzes von 2002 wurde der schrittweise Ausstieg aus der Kernenergie gesetzlich verankert und zugleich die maximalen Elektrizitätsmengen für die bestehenden Anlagen festgelegt.

2011

IN STILLEGUNG

Der beschleunigte Atomausstieg wurde 2011 gesetzlich beschlossen. Acht Kernkraftwerke wurden sofort abgeschaltet, die übrigen neun sollten bis Ende 2022 folgen.



Seit 2024 verfügen alle deutschen Kernkraftwerke über eine Stilllegungsgenehmigung. Bis 2025 wurden mehrere kerntechnische Anlagen, darunter auch drei Kernkraftwerke, vollständig abgebaut und aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen.



1 ÜBERBLICK – 50 JAHRE STILLEGUNG

Seit Mitte der 1970er Jahre werden in Deutschland kerntechnische Anlagen stillgelegt. Dabei handelt es sich um Kernkraftwerke, Forschungsreaktoren sowie Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung.



01. Kernkraftwerk Greifswald Hier wurden bis 1990 fünf Reaktoren betrieben. Seit 1995 befindet es sich offiziell in der Stilllegung, der Abbau der Reaktoren wird voraussichtlich in den 2040er Jahren abgeschlossen werden. Die Entscheidung zur endgültigen Abschaltung im Jahr 1990 fiel auf der Grundlage einer Begutachtung durch die GRS.

Nach der Entscheidung zum beschleunigten Atomausstieg infolge des Reaktorunfalls von Fukushima im Jahr 2011 wurden zunächst acht Kernkraftwerke unmittelbar und weitere neun schrittweise bis Mitte April 2023 endgültig abgeschaltet. Diese Anlagen sind entsprechend dem Atomgesetz nach ihrer endgültigen Abschaltung unverzüglich stillzulegen und abzubauen. Die Stilllegung von Kernkraftwerken ist ein langjähriger Prozess, der nach bisherigen Erfahrungen mehrere Jahre, häufig sogar Jahrzehnte in Anspruch nimmt. Die rund 30 aktuellen Stilllegungsprojekte von Kernkraftwerken in Deutschland sind unterschiedlich weit fortgeschritten.

Neben den Leistungs- und Prototypreaktoren sind außerdem mehrere Forschungsreaktoren sowie Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung abgeschaltet und befinden sich aktuell in Stilllegung bzw. wurden bereits vollständig abgebaut und aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen. Von den insgesamt 40 endgültig abgeschalteten Forschungsreaktoren befinden sich derzeit sechs in Stilllegung. Für drei weitere Reaktoren, die ebenfalls endgültig abgeschaltet sind, wurde bislang noch keine Stilllegungsgenehmigung erteilt. Bereits zuvor wurden in Deutschland 31 Forschungsreaktoren und neun Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung vollständig abgebaut. Derzeit befinden sich zudem

zwei Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung in Stilllegung.

Die Karte in [Abb. 7](#) gibt einen Überblick über die kerntechnischen Anlagen, die sich in Deutschland in Stilllegung befinden oder bereits gänzlich abgebaut sind.

Neben Kernkraftwerken, Forschungsreaktoren und Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung existiert eine Vielzahl kleinerer Einrichtungen, wie beispielsweise Isotopenlabore, Krankenhäuser oder Teilchenbeschleuniger, in denen mit radioaktiven Stoffen gearbeitet wird. Diese sind, ebenso wie Endlager für radioaktive Abfälle, nicht Gegenstand dieser Broschüre.

Zwischen der endgültigen Abschaltung und dem tatsächlichen Beginn des Abbaus werden vorbereitende Maßnahmen getroffen. Hierzu zählt in vielen Fällen die Entsorgung betrieblicher Abfälle, die Entladung des Reaktorkerns und der Abtransport der Brennelemente. Liegt zu diesem Zeitpunkt noch keine Stilllegungs- und Abbaugenehmigung vor, spricht man vom sogenannten Nachbetrieb. Spätestens in dieser Phase beantragt der Anlagenbetreiber die Genehmigung zur Stilllegung, in der auch über die Wahl der Stilllegungsstrategie entschieden wird [Kap. 4.2](#). Erst nachdem die Genehmigung erteilt worden ist, können die konkreten Abbautätigkeiten beginnen.

1.1 Leistungs- und Prototypreaktoren

Bei Kernkraftwerken (Leistungs- und Prototypreaktoren) wird die nutzbare Energie des Kernbrennstoffs in elektrische Energie umgewandelt. Dazu wird in einer kontrollierten Kettenreaktion durch Kernspaltung Wärme erzeugt und mit dieser Wasser in Dampf umgewandelt, der eine Turbine an-

treibt. Die Turbine wiederum treibt einen Generator an, der Strom erzeugt.

Drei Kernkraftwerke wurden bisher vollständig abgebaut: das Kernkraftwerk Niederaichbach (KKN), der Heißdampfreaktor Großwelzheim (HDR) und das



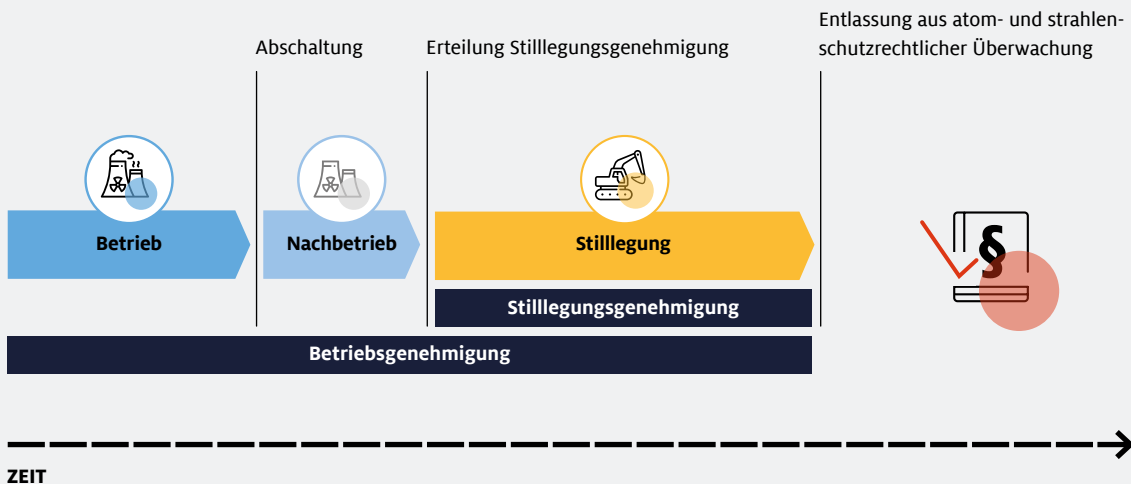
KKW NIEDERAICHBACH

War die erste vollständig abgebaute Anlage. Die Stilllegung begann im Jahr 1975, der natürliche Ausgangszustand wurde 1995 in Form der sogenannten „Grünen Wiese“ wiederhergestellt.



02

BETRIEBSPHASEN EINER KERntechnischen ANLAGE BIS ZUR STILLEGUNG



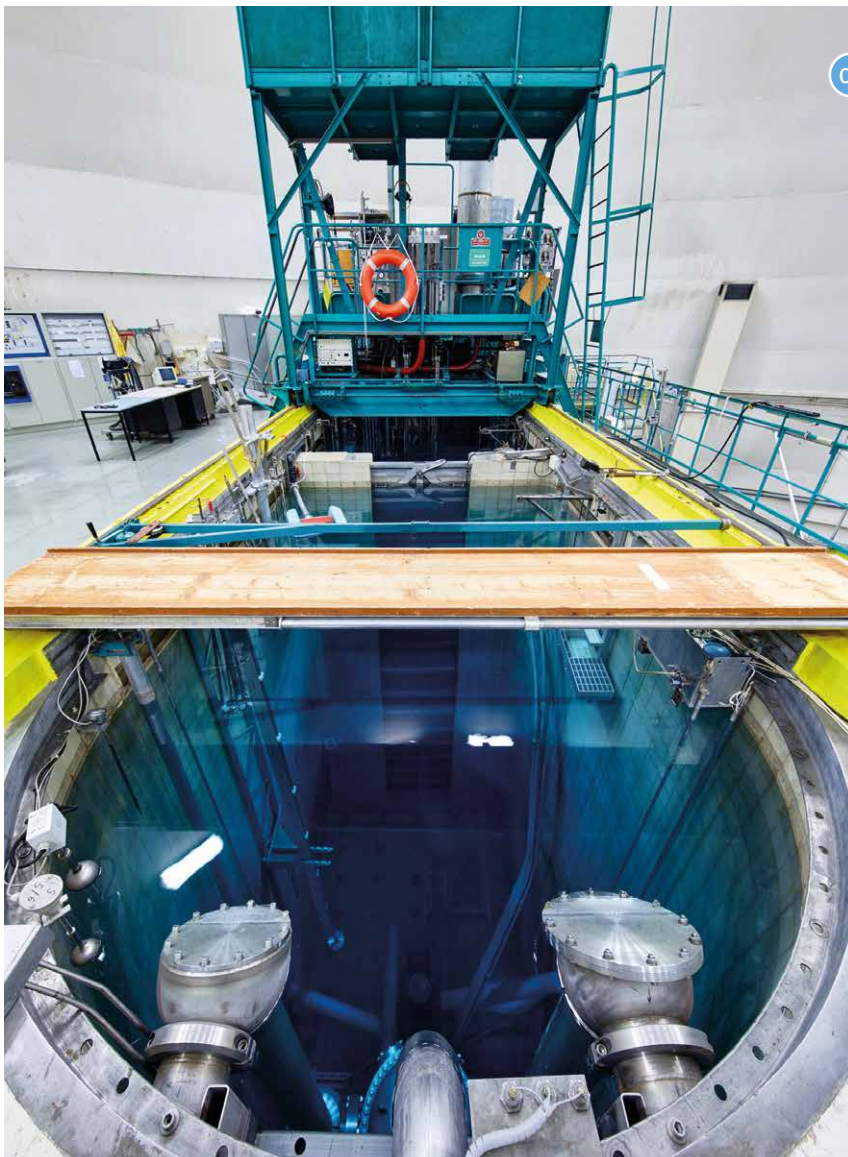
Eine kerntechnische Anlage durchläuft nach ihrer Errichtung mehrere Betriebsphasen: Im Falle von Kernkraftwerken wird im Leistungsbetrieb Elektrizität erzeugt. Mit ihrer endgültigen Abschaltung geht die Anlage in den sogenannten Nachbetrieb, der mit der Erteilung der ersten Stilllegungs- und Abbaugenehmigung endet. Die Stilllegung umfasst sämtli-

che notwendigen Maßnahmen bis zur Entlassung der Anlage aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung. Dazu zählen Abbaumaßnahmen und der sogenannte Restbetrieb. Unter Restbetrieb versteht man den Weiterbetrieb bestimmter Systeme, die für den sicheren Abbau noch benötigt werden, etwa Lüftungssysteme oder Beleuchtung.

Versuchsatomkraftwerk Kahl (VAK). Bei den ersten beiden Anlagen handelte es sich um Prototypreaktoren, deren Entwicklung nicht weiterverfolgt wurde. Das Versuchsatomkraftwerk Kahl war das erste Kernkraftwerk, das in Deutschland im Jahr 1960 errichtet wurde. Nach 25 Jahren Betrieb folgte im Jahr 1985 die endgültige Abschaltung. Anlagenteile und Gebäude wurden dekontaminiert, vollständig abgebaut und das Gelände im Jahr 2010 ohne Einschränkungen für die spätere Nutzung freigegeben [Kap. 7.3](#).

Die Abschaltungen der Prototypreaktoren HDR und KKN sowie der Leistungsreaktoren Lingen (KWL) und

Gundremmingen-A (KRB-A) in den 1970er Jahren markieren den Beginn des Stilllegungsprozesses kerntechnischer Anlagen in Deutschland. Sie alle wurden aus technischen Gründen vor dem ursprünglich geplanten Ende ihrer Laufzeit als erste KKW endgültig abgeschaltet. Da einerseits in den 1970er und zu Beginn der 1980er Jahre noch keine praktische Stilllegungserfahrung vorhanden und Abbautechniken noch zu entwickeln waren und andererseits auch strahlenschutztechnische Überlegungen dafür sprachen, wurde der Abbaubeginn in diesen Fällen verzögert, z. B. unter Nutzung des sogenannten sicheren Einschlusses. Mit Ausnahme von KWL wurde die Strategie jedoch vorzeitig in den Abbau



03

03. Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz

der TU München, auch als
Forschungsreaktor München II
(FRM II) bezeichnet.

04. Forschungsreaktor Jülich 2
Blick in den inzwischen stillgelegten
Forschungsreaktor „DIDO“, der
einst als einer von wenigen Reaktoren
in Europa zur Herstellung von
Technetium-99 genutzt wurde,
welches in der diagnostischen
Radiologie eingesetzt wird.

05. Forschungsreaktor Jülich 1
Demontage der Dachkuppel des
Reaktor Gebäudes in einem Stück.
Die Komponenten im Inneren
waren zu diesem Zeitpunkt bereits
abgebaut.



04



05



THERMISCHE LEISTUNG

Diese ist bei Forschungsreaktoren im Vergleich zu Kernkraftwerken (Leistungsreaktoren) deutlich kleiner. Sie liegt im Bereich von ca. 200 Milliwatt (mW_{th}) bis zu einigen Megawatt (MW_{th}). Ein Kernkraftwerk liegt hier typischerweise im Bereich einiger Gigawatt (GW_{th}), also mindestens 100- bis 1.000-mal höher.



KÜRZERE ABBAUZEIT

Aufgrund der geringeren Größe und Leistung können Forschungsreaktoren aus technischer Sicht innerhalb eines kürzeren Zeitraums abgebaut werden als Kernkraftwerke.

06. Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK)

Blick auf den Bedienflur einer sogenannten „Heißen Zelle“, in der dank einer starken Abschirmung mit hochradioaktiven Stoffen hantiert werden konnte.

gewandelt, als entsprechende Abbautechniken zur Verfügung standen. Bereits in den Jahren 1995 bzw. 1998 konnte im Fall von KKN und HDR der Abbau hin zur „Grünen Wiese“ erfolgreich abgeschlossen werden. Die Gebäude von KRB-A dienen seit dem Jahr 2014 als Technologiezentrum, KWL wird seit dem Jahr 2015 abgebaut.

Über die Jahre zeigte sich, dass jedes Stilllegungsprojekt individuell verläuft. Er-

fahrungsgemäß dauert die Stilllegung eines Leistungs- oder Prototypreaktors etwa 20 Jahre, in ungünstigen Fällen, wie etwa bei besonders starken Kontaminationen an schwer zugänglichen Orten, auch deutlich länger.

Verschiedene Beispiele für abgebaute oder in Stilllegung befindliche Leistungs- und Prototypreaktoren sind im Anhang aufgeführt.

1.2 Forschungsreaktoren

Im Gegensatz zu Leistungsreaktoren dienen Forschungsreaktoren nicht der Stromerzeugung, sondern werden für Anwendungen in den Bereichen Forschung, Medizin oder Industrie betrieben. Dementsprechend steht bei ihnen nicht die Wärmeerzeugung, sondern die Nutzung der im Reaktor erzeugten Neutronenstrahlung im Vordergrund.

Der Prozess der Stilllegung von Forschungsreaktoren verläuft nach demselben Prinzip wie bei Kernkraftwerken. Der Ablauf des Genehmigungsverfahrens und die einzusetzenden Techniken für Dekontamination, Zerlegung und Abfallkonditionierung weisen große Gemeinsamkeiten auf. Allerdings fallen Größe, Leistung und radioaktives Inventar bei einem Forschungsreaktor deutlich geringer aus als bei einem Kernkraftwerk – so fehlt etwa der gesamte technische Anla-

genteil zur Stromerzeugung. Forschungsreaktoren werden oftmals im Laufe ihrer Betriebszeit umfangreich technisch verändert. Das Spektrum an Radionukliden unterscheidet sich von denen in Kernkraftwerken. So können Kontaminationen insbesondere im Bereich der Experimentiereinrichtungen eine sehr große Vielfalt an Radionukliden aufweisen.

Aufgrund der geringeren Größe und Leistung können Forschungsreaktoren aus technischer Sicht innerhalb eines kürzeren Zeitraums (zwischen einigen Monaten und einigen Jahren) abgebaut werden als Kernkraftwerke.

Beispiele aus dem Abbau von Forschungsreaktoren zeigen [Abb. 3, 4 und 5](#) (siehe auch die Auflistung und detaillierte Beispiele im Anhang).

1.3 Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung

Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung dienen beispielsweise der Herstellung oder Wiederaufarbeitung von Brennelementen oder der Konditionierung von Abfällen. Unter diesem Oberbegriff sind damit sehr verschiedene Anlagentypen zusammengefasst,

die sich nur sehr eingeschränkt miteinander vergleichen lassen. In Deutschland existieren nur wenige Anlagen dieser Art, gegenwärtig werden nur noch eine Anlage zur Urananreicherung in Gronau und eine Brennelementefabrik in Lingen betrieben.



Der Ablauf der Genehmigungsverfahren für Stilllegung und Abbau ist mit dem Verfahren für Kernkraftwerke und Forschungsreaktoren vergleichbar. In technischer Hinsicht unterscheiden sich die Projekte – je nach Anlagenart und -zweck auch untereinander – jedoch deutlich von Stilllegung und Abbau der letztgenannten Anlagen. Dies liegt vor allem daran, dass Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung aufgrund der mechanischen und chemischen Verarbeitung von Kernbrennstoff während des Betriebes eine erhebliche Kontamination mit Uran und anderen alphastrahlenden Radionukliden aufweisen können. Aktivierte Materialien spielen hingegen keine Rolle, weil keine Kernspaltung stattfand, welche Neutronenstrahlung erzeugt. Daher stellen sich andere Anforderungen an Dekontaminations- und Abbautechniken sowie an den Strahlenschutz des Personals. Der Aufwand und

damit auch die Dauer der Stilllegung ist abhängig vom Anlagentyp und für Wiederaufarbeitungsanlagen am größten.

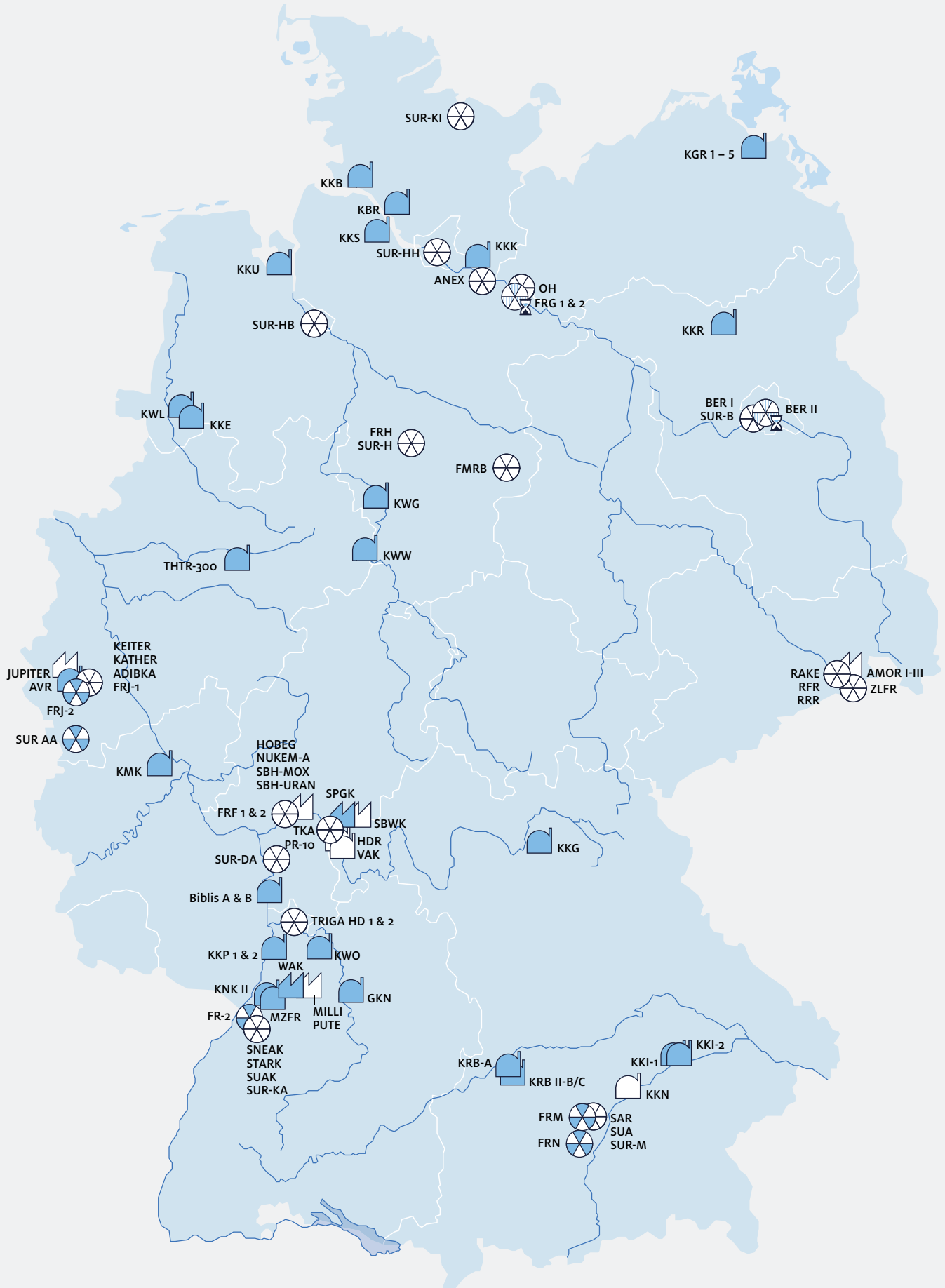
Am Standort Hanau sind Anlagen zur Brennelementherstellung in den 1980er und 1990er Jahren außer Betrieb genommen worden. Im damaligen Kernforschungszentrum Karlsruhe (heute Karlsruher Institut für Technologie, KIT) wurde in den Jahren 1971 bis 1990 die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) [Abb. 6](#) als Versuchsanlage betrieben. Der Abbau der Anlage stellt besonders komplexe Anforderungen und wird voraussichtlich noch mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen.



WAK

Im damaligen Kernforschungszentrum Karlsruhe (heute Karlsruher Institut für Technologie, KIT) wurde in den Jahren 1971 bis 1990 die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) als Versuchsanlage betrieben.





FORSCHUNGSREAKTOREN

ADIBKA	Abbrandmessung differentieller Brennelemente mit kritischer Anordnung Jülich
ANEX	Anlage für Nullleistungs-Experimente Geesthacht
BER I	Berliner Experimentier Reaktor I
BER II	Berliner Experimentier Reaktor II
FMRB	Forschungs- und Messreaktor Braunschweig
FR-2	Forschungsreaktor-2 Karlsruhe
FRF 1	Forschungsreaktor Frankfurt-1
FRF 2	Forschungsreaktor Frankfurt-2
FRG-1	Forschungsreaktor Geesthacht-1
FRG-2	Forschungsreaktor Geesthacht-2
FRH	Forschungsreaktor TRIGA der Medizinischen Hochschule Hannover
FRJ-1	Forschungsreaktor Jülich 1 (MERLIN)
FRJ-2	Forschungsreaktor Jülich 2 (DIDO)
FRM	Forschungsreaktor München (Garching)
FRN	Forschungsreaktor Neuherberg
KAHTER	Kritische Anordnung für Hochtemperaturreaktoren
KEITER	Kritisches Experiment zum Incore-Thermionik-Reaktor Jülich
OH	Nuklearschiff Otto Hahn Geesthacht
PR-10	AEG-Prüfreaktor Karlstein
RAKE	Rossendorfer Anordnung für kritische Experimente
RFR	Rossendorfer Forschungsreaktor
RRR	Rossendorfer Ringzonenreaktor
SAR	Siemens Argonaut-Reaktor München (Garching)
SNEAK	Schnelle Nullenergie-Anordnung Karlsruhe
STARK	Schnell-Thermischer Argonaut-Reaktor Karlsruhe
SUA	Siemens Unterkritische Anordnung München (Garching)
SUAK	Schnelle Unterkritische Anordnung Karlsruhe
SUR-AA	Siemens Unterrichts-Reaktor Aachen
SUR-B	Siemens Unterrichts-Reaktor Berlin
SUR-DA	Siemens Unterrichts-Reaktor Darmstadt
SUR-H	Siemens Unterrichts-Reaktor Hannover
SUR-HB	Siemens Unterrichts-Reaktor Bremen
SUR-HH	Siemens Unterrichts-Reaktor Hamburg
SUR-KA	Siemens Unterrichts-Reaktor Karlsruhe
SUR-KI	Siemens Unterrichts-Reaktor Kiel
SUR-M	Siemens Unterrichts-Reaktor München (Garching)
TKA	AEG-Nullenergiereaktor/ Thermisch-Kritische Anordnung Karlstein
TRIGA HD I	Forschungsreaktor TRIGA Heidelberg I
TRIGA HD II	Forschungsreaktor TRIGA Heidelberg II
ZLFR	Zittauer Lehr- und Forschungsreaktor

KERNKRAFTWERKE

AVR	Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor Jülich
GKN-1	Kernkraftwerk Neckarwestheim-1
GKN-2	Kernkraftwerk Neckarwestheim-2
HDR	Heißdampfreaktor Großwelzheim
KBR	Kernkraftwerk Brokdorf
KGR- 1-5	Kernkraftwerk Greifswald 1-5
KKB	Kernkraftwerk Brunsbüttel
KKE	Kernkraftwerk Emsland
KKG	Kernkraftwerk Grafenrheinfeld
KKI-1	Kernkraftwerk Isar-1
KKI-2	Kernkraftwerk Isar-2
KKK	Kernkraftwerk Krümmel
KKN	Kernkraftwerk Niederaichbach
KKP-1	Kernkraftwerk Philippsburg-1
KKP-2	Kernkraftwerk Philippsburg-2
KKR	Kernkraftwerk Rheinsberg
KKS	Kernkraftwerk Stade
KKU	Kernkraftwerk Unterweser
KMK	Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich
KNK-II	Kompakte natriumgekühlte Kernreaktoranlage
KRB-A	Kernkraftwerk Gundremmingen Block-A
KRB-II-B	Kernkraftwerk Gundremmingen Block-B
KRB-II-C	Kernkraftwerk Gundremmingen Block-C
KWB-A	Kernkraftwerk Biblis Block-A
KWB-B	Kernkraftwerk Biblis Block-B
KWG	Kernkraftwerk Grohnde
KWL	Kernkraftwerk Lingen
KWO	Kernkraftwerk Obrigheim
KWW	Kernkraftwerk Würgassen
MZFR	Mehrzweckforschungsreaktor
THTR-300	Thorium-Hochtemperaturreaktor-300
VAK	Versuchsatomkraftwerk Kahl

ANLAGEN DER VER- UND ENTSORGUNG

AMOR I-III	Anlage zur Gewinnung von Mo-99 Rossendorf
HOBEG	Hochtemperaturreaktor-Brennelementfabrik Hanau
JUPITER	Juelich Pilot Plant for Thorium Element Reprocessing
MILLI	Wiederaufarbeitungsanlage im Millitonnen-Maßstab Karlsruhe
NUKEM-A	Brennelementwerk NUKEM-A Hanau
PUTE	Plutonium-Testextraktion Karlsruhe
SBH-MOX	Siemens Brennelementwerk Hanau; Betriebsteil MOX
SBH-URAN	Siemens Brennelementwerk Hanau; Betriebsteil Uranverarbeitung
SBWK	Siemens Brennelementwerk Hanau; Standort Karlstein
SPGK	Siemens Power Generation Karlstein
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe

Kernkraftwerke



in Stilllegung



aus dem AtG entlassen

Forschungsreaktoren



abgeschaltet;
noch keine Stilllegungs-
genehmigung erteilt



in Stilllegung



aus dem AtG entlassen

Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung



in Stilllegung



aus dem AtG entlassen



2

STILLEGUNGS- STRATEGIEN

Bei der Stilllegung werden international bis auf wenige Ausnahmen zwei verschiedene Strategien verfolgt: der direkte Abbau und der sichere Einschluss. In Deutschland wird heute ausschließlich direkt abgebaut.



08. Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich

Im Rahmen des seit 2014 andauernden Abbaus des KKW Mülheim-Kärlich wurde ab 2018 der Kühlturm bis zu einer Höhe von etwa 80 Metern mit einer sogenannten Abrisschere zurückgebaut, die auf einer Art Bagger montiert war. Der verbleibende Teil wurde bis Mitte 2019 vom Boden aus abgebaut.

Bereits während der Planung, der Errichtung und dem Leistungsbetrieb einer Anlage müssen in einem Stilllegungskonzept Pläne für die spätere Stilllegung und den Abbau erarbeitet und im Laufe der Jahre regelmäßig fortgeschrieben und aktualisiert werden. Hierdurch wird sichergestellt, dass das Ziel, die gesamte Anlage auch unter Berücksichtigung etwaiger Änderungen sowie relevanter betriebshistorischer Ereignisse vollständig abzubauen zu können, immer erreicht werden kann. Vorbereitend auf die endgültige Außerbetriebnahme einer Anlage wird das Stilllegungskonzept durch eine detaillierte Stilllegungsplanung konkretisiert.

Ein zentraler Bestandteil des Stilllegungskonzepts ist die Auswahl der Stilllegungsstrategie. Die Wahl der Strategie obliegt zunächst dem Betreiber und bedarf der Prüfung und Genehmigung durch die zuständige Landesbehörde. Als Stilllegungsstrategie wird das Vorgehen zur Stilllegung einer kerntechnischen Anlage mit dem Ziel, den genehmigten Endzustand zu erreichen, bezeichnet. Das Atomgesetz unterscheidet für Anlagen in Deutschland die beiden Stilllegungsstrategien „direkter Abbau“ und „sicherer Einschluss“.

2017 wurde jedoch im Atomgesetz festgelegt, dass kerntechnische Anlagen, deren Berechtigung zum Leistungsbetrieb nach § 7 Abs. 1a des Atomgesetzes erloschen ist oder deren Leistungsbetrieb endgültig beendet ist und deren Betreiber Einzahlende nach § 2 Abs. 1 Satz 1 des Entsorgungsfondsgesetzes sind, unverzüglich stillzulegen und abzubauen sind. Ausnahmen hiervon können nur im Einzelfall für Teile der Anlage aus Gründen des Strahlenschutzes zugelassen werden. Das heißt, dass ein sicherer Einschluss, der eine Überführung der Anlage in einen wartungsarmen Zustand für einen längeren Zeitraum bedeutet und einen Abbau und die Entlassung aus der atomrechtlichen Überwachung auf einen späteren Zeitraum verschiebt, für ein Kernkraftwerk nicht mehr genehmigungsfähig ist.

International werden auch die Strategie des sogenannten Entombments oder In-situ-Entsorgungs-Strategien verfolgt. Hierbei werden große Teile der Anlage an Ort und Stelle dauerhaft konserviert. Das Entombment war jedoch nie eine genehmigungsfähige Strategie in Deutschland und ist auch keine valide Option gemäß IAEA General Safety Requirements Part 6.



DIREKTER ABBAU

Das am 16. Juni 2017 verabschiedete Gesetz zur Neuordnung der Verantwortung in der kerntechnischen Entsorgung legt fest, dass kommerziell betriebene Kernkraftwerke unverzüglich stillzulegen und abzubauen sind.

PHASEN DER STILLLEGUNG UND DEREN GENEHMIGUNGEN

Die Stilllegung kerntechnischer Anlagen kann sich oftmals in mehrere Phasen untergliedern. Jede dieser Phasen bedarf einer eigenen atomrechtlichen Genehmigung und hat einen klar definierten Umfang. Der genaue Umfang der ersten Stilllegungs- und Abbaugenehmigung (1. SAG) richtet sich nach der jeweiligen kerntechnischen Anlage. Sie umfasst im Wesentlichen die endgültige Einstellung des Anlagenbetriebs sowie den Abbau erster Anlagenteile und legt insbesondere ein Gesamtkonzept für die gesamte Stilllegung vor. Eingeschlossen ist dabei auch der sachgerechte Umgang mit den

anfallenden radioaktiven Reststoffen bis zu deren Übergabe an Einrichtungen zur weiteren Behandlung oder Entsorgung. Darüber hinaus regelt die Genehmigung den Restbetrieb sowie erforderliche Änderungen der Anlage und deren Einbindung in den Restbetrieb. Für Kernkraftwerke kann eine 2. Abbaugenehmigung (2. AG) unter anderem den Abbau von im Reaktorgebäude befindlichen Komponenten wie dem biologischen Schild oder den Brennelementlager- und Reaktorbecken umfassen. Die mit der 2. AG verbundenen Maßnahmen können grundsätzlich parallel zu denen der 1. SAG durchgeführt werden.

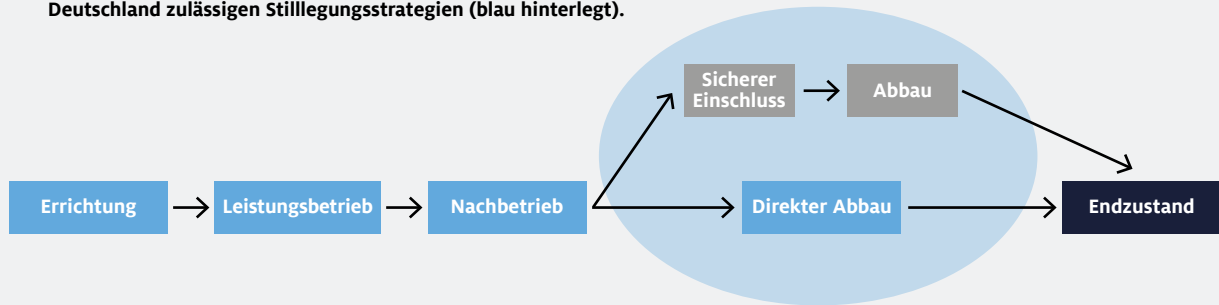
10. Kernkraftwerk Greifswald

Der Druckhalter wird aus seiner ursprünglichen Einbaulage gehoben, später wird er in das Zwischenlager Nord am Standort verbracht.

09

STILLEGUNGSSTRATEGIEN

Verschiedene Lebensphasen eines Kernkraftwerks, inklusive der in Deutschland zulässigen Stilllegungsstrategien (blau hinterlegt).

**KWL****KERNKRAFTWERK LINGEN**

Das Kernkraftwerk Lingen, eine ehemalige Demonstrationsanlage, wurde 1977 nach neun Betriebsjahren in den sicheren Einschluss überführt.

Seit 2015 wird die Anlage abgebaut. Die Stilllegung soll Mitte der 2030er Jahre abgeschlossen sein.

**Direkter Abbau**

Beim direkten Abbau wird die Anlage unmittelbar beseitigt, d. h. direkt im Anschluss an die Nachbetriebsphase werden sukzessive alle Systeme und Einrichtungen abgebaut [Abb. 9](#). Anschließend werden die leeren Gebäude in der Regel dekontaminiert und freigemessen. Ist dies erfolgt, kann die Anlage aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen und entweder entsprechend konventioneller Regelungen abgerissen oder für beliebige Zwecke nachgenutzt werden.

Sicherer Einschluss

Bei der Strategie des sicheren Einschlusses wird die Anlage dagegen vor dem Abbau erst eine gewisse Zeit (typischerweise einige Jahrzehnte) sicher eingeschlossen. Dabei sind drei Phasen zu unterscheiden:

1. Maßnahmen in der Anlage, die der Realisierung des sicheren Einschlusses dienen und die Anlage in einen wartungsarmen Zustand überführen (z. B. Entfernung von Brennelementen und Brandlasten).
2. Verbleib der Anlage im sicheren Einschluss über einen längeren Zeitraum (z. B. 30 Jahre).
3. Abbau der Anlage.

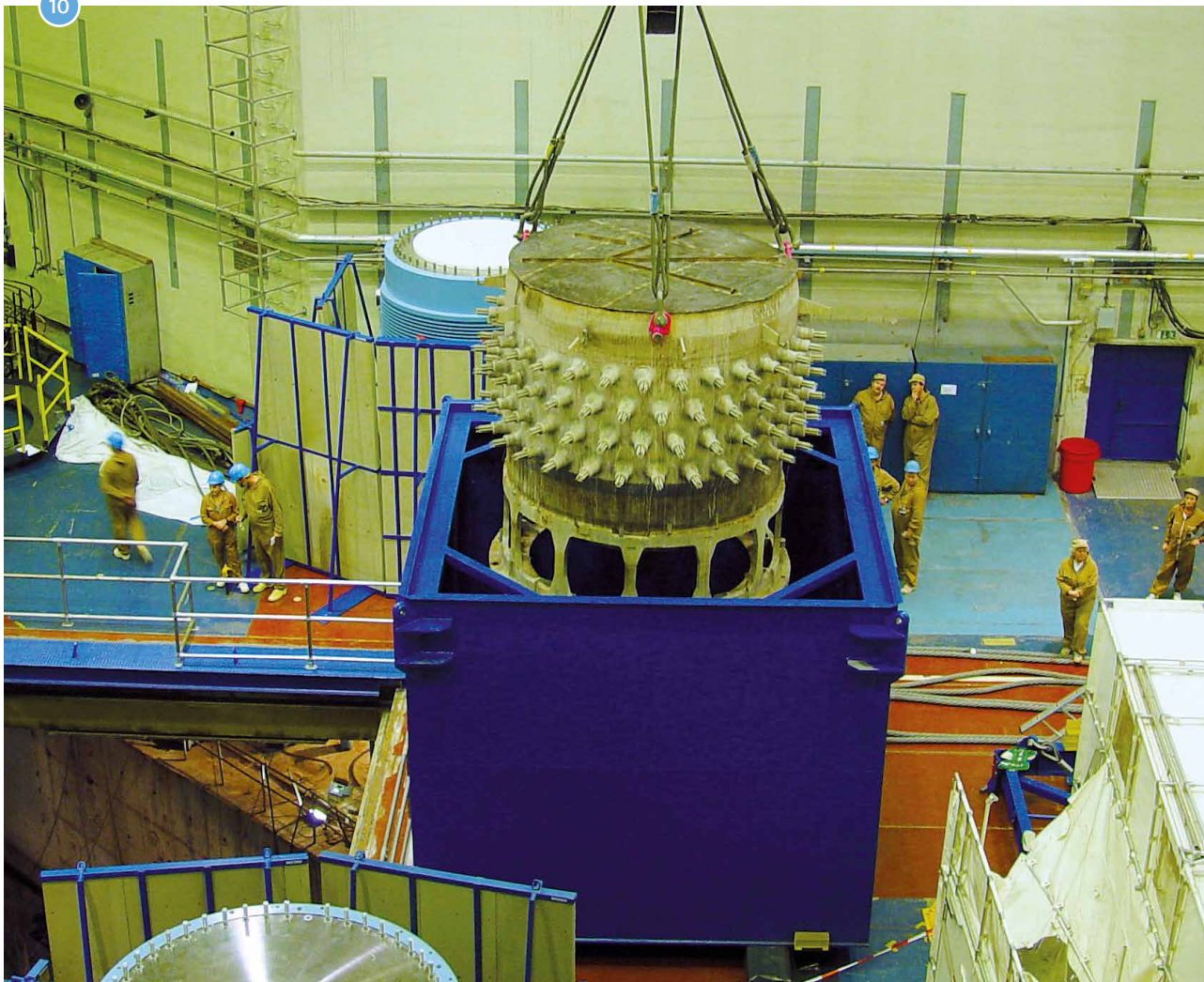
Vor- und Nachteile der Strategien

Jede der beiden Strategien weist Vor- und Nachteile auf, die im konkreten Einzelfall gegeneinander abzuwägen sind [Abb. 11](#).

Die Erfahrungen, die man bislang in Deutschland mit dem sicheren Einschluss gemacht hat, zeigen in Verbindung mit den inzwischen verfügbaren technischen Möglichkeiten und den in Deutschland noch abzubauenen Anlagen, dass die Nachteile dieser Stilllegungsstrategie gegenüber den Vorteilen überwiegen.

In Deutschland befinden sich nur wenige Anlagen im sicheren Einschluss: zwei Forschungsreaktoren und das Kernkraftwerk THTR-300. Die ursprüngliche Planung für den THTR-300 sah den sicheren Einschluss über 30 Jahre vor. Die übrigen in Deutschland genehmigten Stilllegungsprojekte haben inzwischen alle den direkten Abbau zum Ziel.

10



11

GEGENÜBERSTELLUNG EINIGER VOR- UND NACHTEILE DER STILLLEGUNGSSTRATEGIEN

Direkter Abbau

- Verfügbarkeit von Personal, das mit der Betriebshistorie vertraut ist
- Milderung wirtschaftlicher Folgen für die Region
- Finanzierungssicherheit
- Gelände kann früher wieder genutzt werden.



Sicherer Einschluss und späterer Abbau

- Radioaktivität, insbesondere bei kurzlebigen Nukliden, nimmt mit der Zeit ab („Abklingen“).
- Durch geringere Exposition beim Abbau können Abbauarbeiten technisch einfacher sein.

- Höhere noch vorhandene Radioaktivität
- Höhere Strahlenexposition kann Abbauarbeiten auch technisch erschweren.



- Erhöhung des messtechnischen Aufwandes für die radiologische Bewertung durch Änderung der Nuklidzusammensetzung im Laufe der Zeit (vgl. auch das Abklingen kurzlebiger Nuklide, wie oben dargestellt).
- Kenntnisse über die Anlage und deren Betriebshistorie gehen verloren.
- Für den Abbau nach dem sicheren Einschluss muss neues qualifiziertes Personal gefunden werden.



3

ABBAU EINER KERN- TECHNISCHEN ANLAGE

*Vom Abbau einzelner Komponenten bis zur Freigabe des Geländes:
Der Abbau kerntechnischer Anlagen ist technisch und
organisatorisch komplex und muss so gestaltet sein, dass
die Sicherheit immer gewährleistet ist. Deshalb wird beispielsweise
in bestimmten Bereichen nur fernhantiert gearbeitet.*



12. Detaillierte Messungen Eine wichtige Aufgabe bei der Stilllegung besteht darin, die radiologische Situation in verschiedensten Teilen der Anlage genau zu ermitteln. So werden etwa Wände, Decken und Böden der Anlagenräume durch abdeckende Messungen auf mögliche Kontaminationen untersucht. Zur Dokumentation werden alle Messflächen markiert.

Der Betreiber einer kerntechnischen Anlage ist auch für ihren sicheren Abbau verantwortlich. Wie dieser gestaltet werden soll, ist – solange er sich innerhalb des gesetzlichen Rahmens bewegt – seine Entscheidung. Dies gilt grundsätzlich für alle Anlagentypen, vom kleinsten Unterrichtsreaktor bis zum Mehrblock-Kernkraftwerk. Im Regelfall haben die Größe und die Komplexität einer Anlage den größten Einfluss

auf den Stilllegungsaufwand. Die Vorgehensweise beim Abbau muss insbesondere bei Kernkraftwerken sorgfältig vorgeplant werden. Im Folgenden wird zunächst auf mögliche Varianten beim Abbau von Kernkraftwerken der in Deutschland am weitesten verbreiteten Typen eingegangen. Hierbei handelt es sich um Leichtwasserreaktoren in Form von Druck- oder Siedewasserreaktoren.

3.1 Abbauvarianten

Zur Vorbereitung der Stilllegungsarbeiten wird eine detaillierte Übersicht über das radioaktive Inventar und die Kontaminationen in der Anlage erstellt. In allen Bereichen der Anlage werden hierzu Messungen durchgeführt sowie Proben genommen und ausgewertet. Danach kann der endgültige Plan für den Abbau erstellt werden. In dieser Phase wird auch über die Techniken für Dekontamination und zur Trennung von Werkstücken [Kap. 6](#) entschieden.

Mit der Erteilung der Stilllegungs- und Abbaugenehmigung, also zu Beginn der Stilllegung im rechtlichen Sinne, befindet sich die Anlage noch weitgehend im gleichen technischen Zustand wie während des Betriebs. In der Vergangenheit wurden in der vorangegangenen Nachbetriebsphase die Brennelemente und gegebenenfalls Betriebsabfälle in Vorbereitung auf die Stilllegung aus dem Reaktorgebäude entfernt. In einigen Fällen wurden die Stilllegung und die damit verbundenen Abbautätigkeiten bereits kurz nach der endgültigen Abschaltung begonnen, während sich noch Brennelemente im Reaktorgebäude befanden. Vorbereitende Maßnahmen, die sonst in der Nachbetriebsphase durchgeführt wurden, fallen dann bereits in die Stilllegung.

In einer frühen Phase der Stilllegung (oder der Nachbetriebsphase) findet in der Regel eine chemische Dekontamination des Primärkreises und angrenzender wasserführender Systeme statt. Diese sogenannte Systemdekontamination kann Radionuklide in erheblichem Maße austragen und so die Exposition für das Personal bei den Abbauarbeiten deutlich reduzieren. Eine Dekontamination einzelner Teile ist je nach Gegebenheiten aber auch nach der Zerlegung üblich.

In verschiedenen Stilllegungsprojekten werden unterschiedliche Reihenfolgen beim Abbau angewendet, wobei auch Mischformen der nachfolgend beschriebenen Varianten zweckmäßig sein können.

Eine Variante sieht vor, zunächst die Komponenten mit der höchsten Aktivierung bzw. Kontamination zu entfernen, um für die später folgenden Abbautätigkeiten eine erhebliche Verringerung der Exposition des Abbaupersonals zu erreichen. Zu diesen Komponenten gehören die Einbauten des Reaktordruckbehälters, der kernnahe Bereich und die sich unmittelbar anschließenden Systeme und Komponenten innerhalb des Sicherheitsbehälters. Schwächer oder nicht kontaminierte Anlagenteile werden nachfolgend entfernt.



PRIMÄRKREISLAUF

Als Primärkreis wird beim Druckwasserreaktor der geschlossene Kreislauf bezeichnet, in dem das Primärkühlmittel zirkuliert, das im direkten Kontakt zu den Brennelementen von diesen aufgeheizt wird [Abb. 13](#). Teile des Primärkreises sind daher in der Regel diejenigen Teile eines Kernkraftwerkes, die an den innenliegenden Oberflächen am stärksten kontaminiert sind. Beim Siedewasserreaktor spricht man hier vom Wasser-Dampf-Kreislauf. Um die von diesen Komponenten ausgehende Strahlung schon zu Beginn der Stilllegung zu reduzieren, wird eine chemische Systemdekontamination durchgeführt. Teile des Primärkreises bzw. Wasser-Dampf-Kreises können dadurch so weit gereinigt werden, dass sie nicht mehr als radioaktiver Abfall entsorgt werden müssen. [Kap. 6.1](#).



GEBÄUDEHÜLLE

Der konventionelle Abriss der äußeren Gebäudehülle eines Kernkraftwerks – hier im Bild Niederachbach – erfolgt in der Regel erst, nachdem der nukleare Abbau im Inneren beendet ist. Heutzutage werden meist erst Bereiche mit höheren Kontaminationen im Inneren der Anlage rückgebaut, dann jene mit geringen oder ohne Kontaminationen.



Alternativ kann umgekehrt in den Bereichen mit geringer Kontamination begonnen werden, um anschließend in Bereichen mit höherer Kontamination fortzuschreiten; es wird dann „von außen nach innen“ vorgegangen. In den frei gewordenen Bereichen, z. B. in Teilen des Maschinenhauses, können dann notwendige Geräte installiert werden, um den Abfall und die Reststoffe zu zerlegen, zu dekontaminieren und aufzubereiten sowie zu konditionieren oder freizugeben.

Bei den jüngsten Stilllegungsprojekten wird unverzüglich nach der Abschaltung mit einem Abbau „von innen nach außen“ begonnen; gleichzeitig werden Nebengebäude, die keine radioaktiven Stoffe enthalten haben, rasch freigeräumt und gegebenenfalls als Pufferlager genutzt. Hierbei kommt ein wichtiger Unterschied zwischen Kernkraftwerken mit Druck- und solchen mit Siedewasserreaktoren zum Tragen: Bei Anlagen mit Siedewasserreaktoren wird die Turbine mit Dampf/Wasser aus dem Primärkreislauf betrieben, der systembedingt kontaminiert ist [Abb. 14](#); die Turbine ist daher Teil des Kontrollbereichs. Bei Druckwasserreaktoren ist dies nicht der Fall, da hierbei das Primärkühlmittel (Wasser) einen Wärmetauscher (Dampferzeuger) durchläuft, der die Wärme an das Wasser in einen Sekundärkreislauf abgibt. Die Turbine wird dann mit dem Wasserdampf aus dem Sekundärkreislauf angetrieben, der nicht kontaminiert ist [Abb. 13](#). Aus diesem Grund ist bei Anlagen mit Druckwasserreaktor das Turbinenhaus nicht Teil des Kontrollbereichs und kann daher früh geräumt und als Lagerraum genutzt werden.

Komponenten der Anlage können entweder in eingebautem Zustand, vor Ort in eigens eingerichteten Raumbereichen oder auch extern zerlegt werden. In eini-

gen Fällen werden Großkomponenten zunächst zur Abklinglagerung aus der Anlage entfernt und später extern zerlegt [Kap. 3.3](#). Der sogenannte sichere Einschluss, der praktisch einer Abklinglagerung der Gesamtanlage entspricht, ist heute nur in Ausnahmefällen aus Gründen des Strahlenschutzes für Teile der Anlage zulässig und genehmigungsfähig [Kap. 2](#).

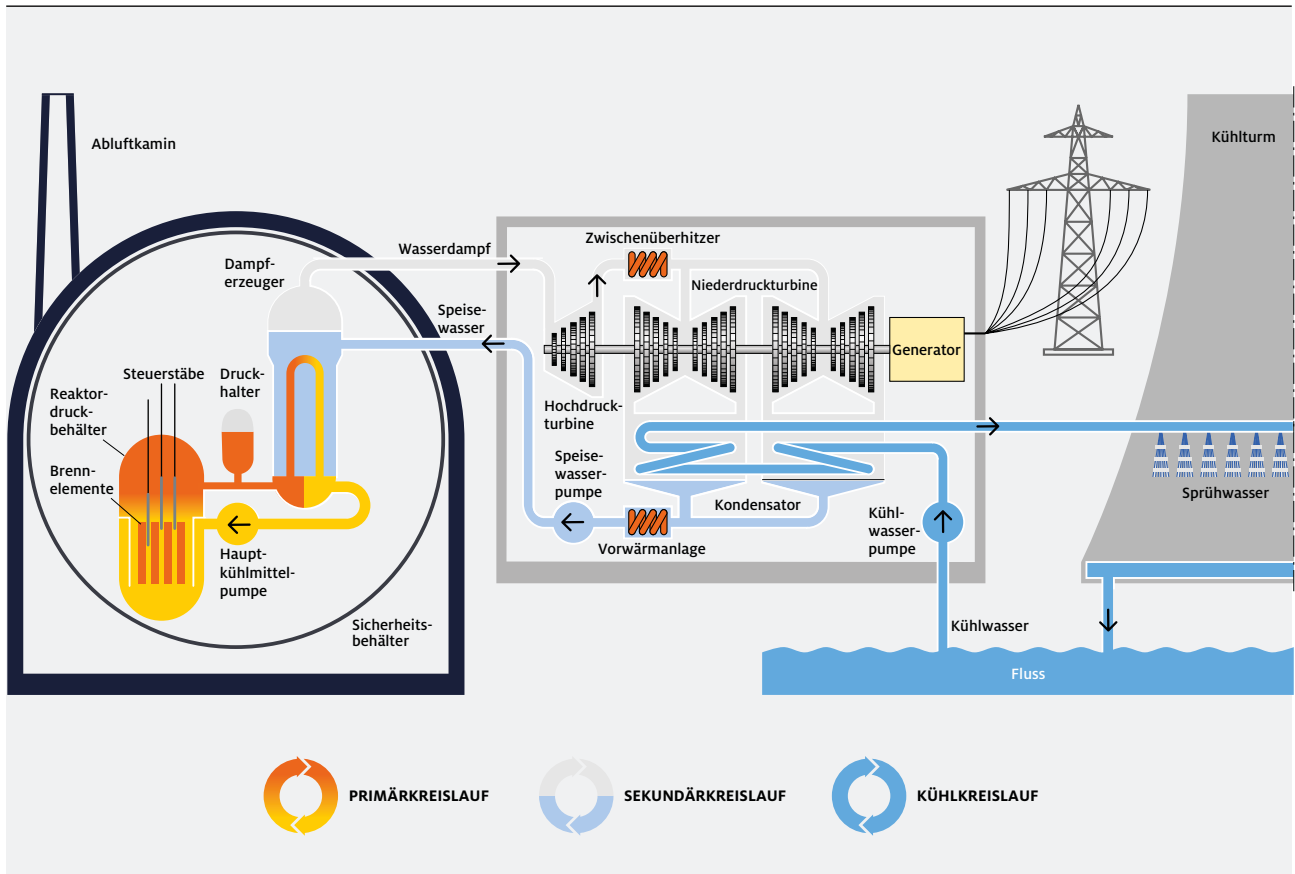
Jedes demontierte Teil wird auf vorhandene Kontaminationen hin untersucht. Anhand dieser radiologischen Charakterisierung wird entschieden, ob das Teil konditioniert und als radioaktiver Abfall abgegeben werden muss oder ob es weiter dekontaminiert und freigegeben werden kann [Kap. 7](#). Dabei kommen EDV-Systeme zum Einsatz, die eine lückenlose Verfolgung der Teile – vom Ort ihres Abbaus über die folgenden Behandlungsschritte bis zum Abtransport aus der Anlage – sicherstellen. Insgesamt ist die für die Reststoff- und Abfallbehandlung notwendige Logistik umfangreich und ein maßgeblicher Kostenfaktor.

Wichtige Einrichtungen, wie Lüftung, Stromversorgung sowie Wasser- und -entsorgung, werden über fast alle Abbauphasen hinweg benötigt. Diese Systeme sind entweder noch aus der Betriebsphase vorhanden und können weiter genutzt werden, oder es werden neue und gegebenenfalls externe Systeme nachgerüstet, die besser an die jeweiligen Anforderungen des Abbaus angepasst sind. Die Einrichtung neuer und externer Systeme ermöglicht den früheren Abbau der vorhandenen Systeme aus der Betriebsphase.

Die Demontageschritte, die den Reaktordruckbehälter und dessen Einbauten betreffen, werden – unabhängig von der Abbaureihenfolge – weitgehend fernhandelt

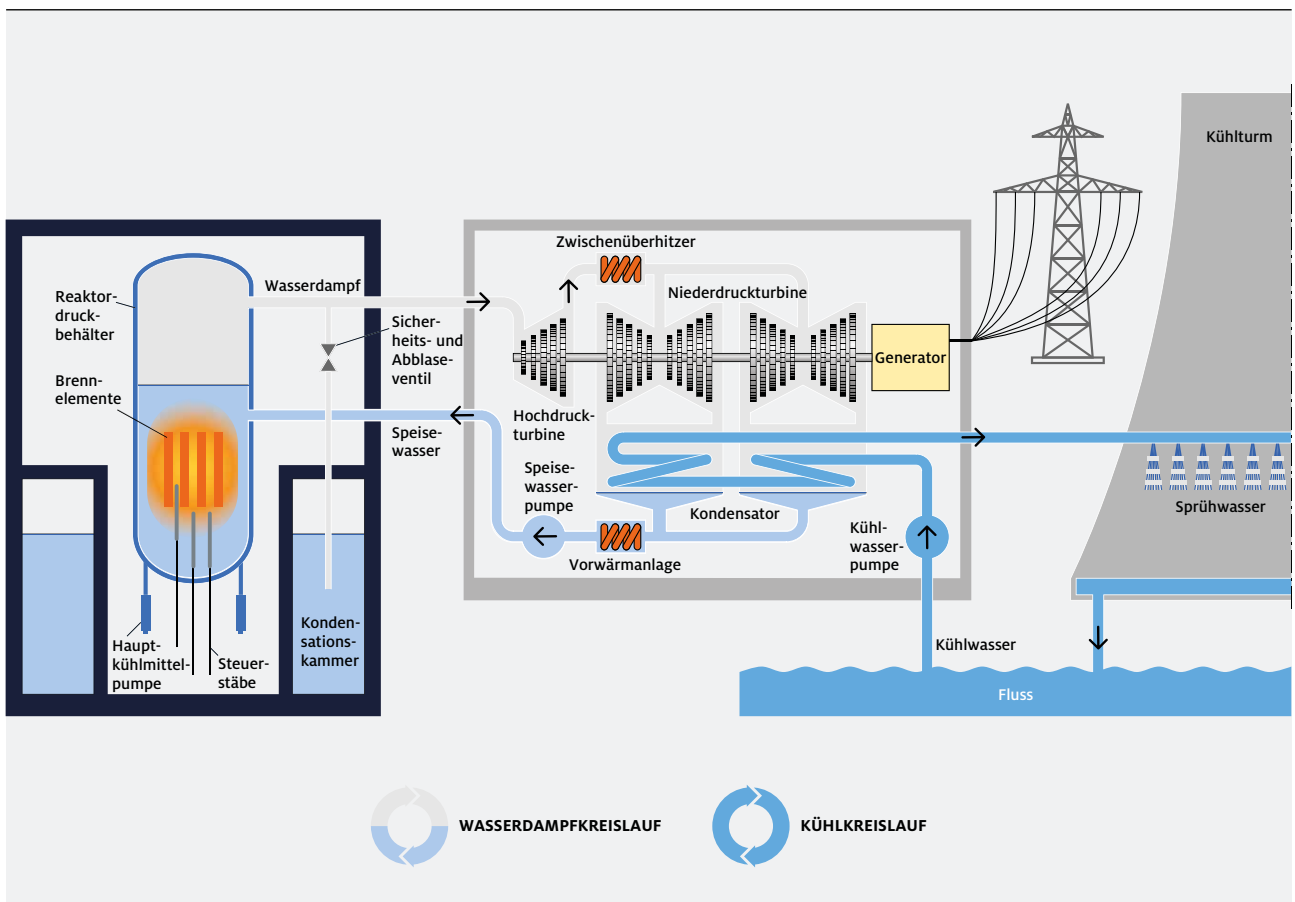
13

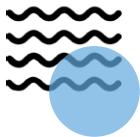
SCHEMATISCHER AUFBAU EINES DRUCKWASSERREAKTORS



14

SCHEMATISCHER AUFBAU EINES SIEDEWASSERREAKTORS





WASSER

Wasser hat für Gammastrahlung eine geringe Halbwertsdicke: Selbst bei relativ hohen Strahlungsenergien reicht schon eine Schicht von ca. 15 Zentimetern aus, um die Hälfte der Strahlung abzuschirmen, die von dem überdeckten Stoff ausgeht. Deshalb werden etwa die bestrahlten Brennelemente zunächst in einem Becken unter mehreren Metern Wasser gelagert, bevor sie nach ca. fünf Jahren in Behälter für die Zwischenlagerung geladen werden.

durchgeführt, um den Aufenthalt von Personen in solchen Bereichen zu vermeiden, in denen infolge von Kontamination oder Aktivierung von Anlagenteilen eine höhere Exposition herrscht. Viele der Arbeiten werden zusätzlich unter Wasser ausgeführt, da Wasser eine wirksame Abschirmung gegen ionisierende Strahlung darstellt und zugleich Aerosolbildung verhindert. Die Materialien, die aus diesem Abbauschritt anfallen, sind zum großen Teil aktiviert. Sie bilden einen wesentlichen Anteil der radioaktiven Stilllegungsabfälle [Kap. 7](#).

In einer fortgeschrittenen Abbauphase werden die Gebäude vollständig leergeräumt und es verbleiben gegebenenfalls nur noch vorhandene Restkontaminationen auf den Oberflächen der Gebäudestrukturen. Im letzten Schritt werden diese – sofern nötig – dekontaminiert und erneut auf verbleibende radioaktive Kontamination geprüft. Nach

erfolgreicher Freigabe [Kap. 7.2](#) können die Gebäude aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen und danach konventionell genutzt oder abgerissen werden. Schließlich erfolgen auch Freigabe und Entlassung des Anlagengeländes aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung.

Häufig befinden sich am Anlagenstandort ein Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente sowie eines für radioaktive Abfälle aus dem Abbau, die für die Endlagerung vorgesehen und entsprechend konditioniert und verpackt sind. Sie werden geräumt, sobald die entsprechenden Endlager zur Aufnahme der Abfälle bereit sind [Kap. 7](#). Die Inhaber und Betreiber der Zwischenlager und des KKW sind nicht identisch und die Flächen voneinander getrennt. Insofern handelt es sich bei der Stilllegung und dem Abbau der Zwischenlager um komplett eigenständige Prozesse.

15. Dekontamination Um Kontaminationen zu entfernen, kommen verschiedene technische Verfahren zum Einsatz. Neben chemischen Verfahren gehören dazu beispielsweise auch das Wasser- oder Sandstrahlen. Diese Arbeiten finden, wie hier im Bild zu sehen, in speziellen Kabinen statt, um den Arbeitsschutz zu gewährleisten und die Verschleppung von Kontaminationen zu verhindern.

3.2 Einflussfaktoren auf den Stilllegungsfortgang

Die Stilllegung einer kerntechnischen Anlage erstreckt sich in der Regel über einen längeren Zeitraum und kann, abhängig von verschiedenen Faktoren des jeweiligen Projekts, variieren.

Aufgrund der langen Zeiträume verändern sich auch die technologischen und rechtlichen Rahmenbedingungen für die Durchführung der Stilllegung während der Abbauphase. Beispielsweise kann das Abbautempo durch die zunehmende Digitalisierung [Kap. 6](#) in der Industrie erhöht werden, wenn dadurch Abbauschritte optimal aufeinander abgestimmt werden. Das Trennen von Komponenten lässt sich z. B. anhand von 3D-Modellen einfacher im Voraus planen und durchführen. Neue Trennverfahren, wie etwa das Laserschneiden, können den Aufwand reduzieren, mit dem Kontaminationen infolge des Schneidvorgangs verhindert werden sollen, und so auch Zeit einsparen.

Auch die Exposition des Personals kann im Vorfeld für viele Arbeiten simuliert und dadurch bei der Durchführung reduziert werden. Die Fernhantierung sowie der Einsatz von Robotern bedeuten auch eine Veränderung des Zeitaufwandes gegenüber der manuellen Zerlegung. In vielen Fällen geht die fernhantierte Trennung mit einem höheren Zeitaufwand einher, kann jedoch aus Gründen des Strahlenschutzes erforderlich oder aus Optimierungsgesichtspunkten des Strahlenschutzes gerechtfertigt werden bzw. notwendig sein. Grundsätzlich kann sich eine fernhantierte oder automatisierte Zerlegung aber in der Gesamtbetrachtung beschleunigend auswirken, da Rüstzeiten und Arbeitsvorbereitungen gegebenenfalls entfallen können.

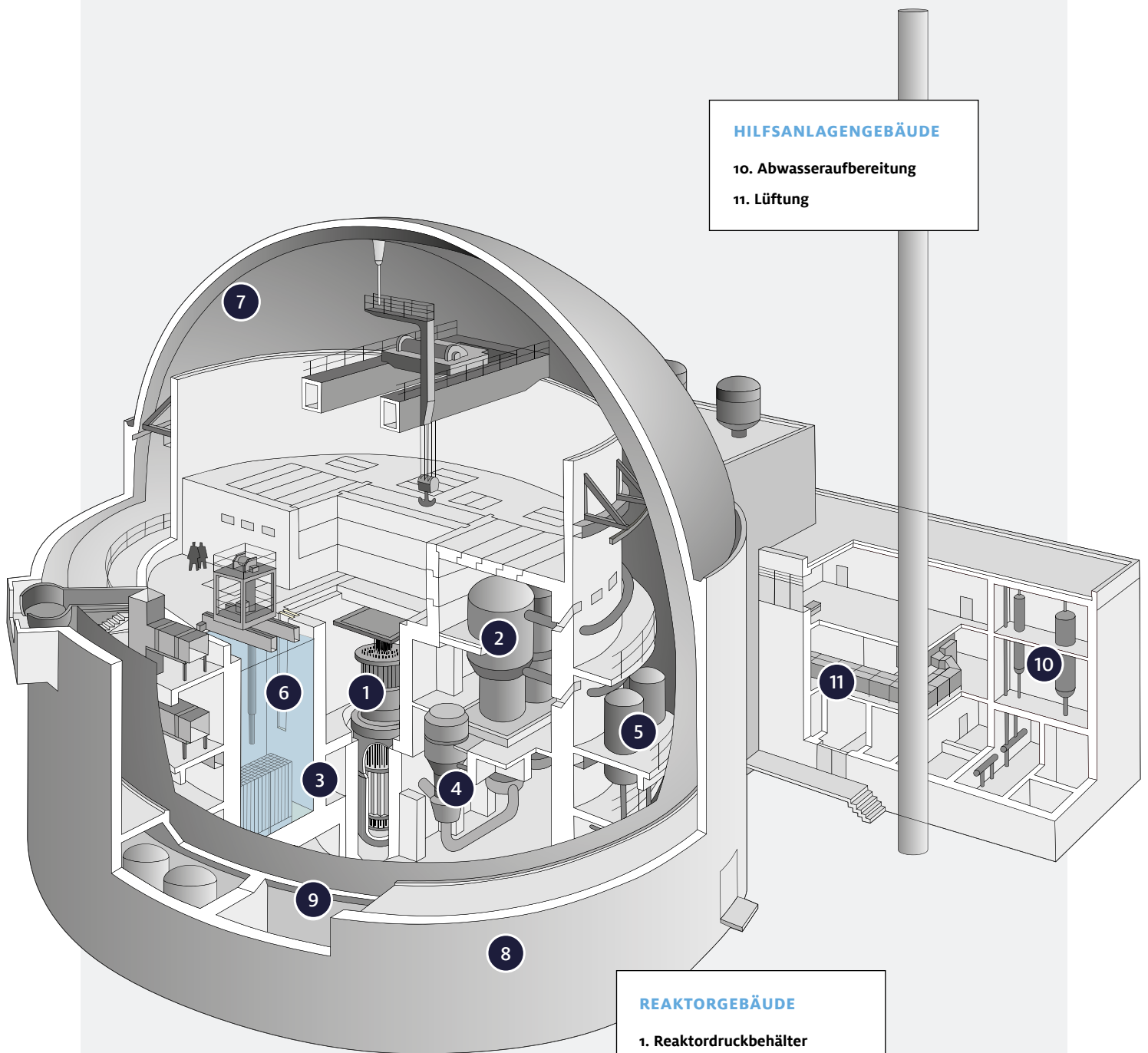
Um den Abbaufortschritt nicht zu behindern, sollten abgebaute Reststoffe rasch aus den Arbeitsbereichen entfernt und idealerweise direkt ihrem Entsorgungsweg zugeführt werden. Die Abbauplanung berücksichtigt daher die Massenströme und passt im Idealfall den Anfall der Reststoffe an die Kapazitäten der Reststoffverarbeitung an. In der Praxis werden interne und externe Pufferflächen und Zwischenlagerkapazitäten benötigt. Dadurch haben auch die räumlichen Gegebenheiten der Anlage und des gesamten Standortes einen Einfluss auf den Abbaufortschritt. In einigen Fällen wurde die Strategie im Laufe der Zeit angepasst, beispielsweise nach dem Planfeststellungsbeschluss für das Endlager „Schacht Konrad“, in dem zukünftig schwach- und mittelradioaktive Stilllegungsabfälle entsorgt werden sollen. Durch eine frühzeitige Errichtung von Zwischenlagerkapazitäten am Standort der Anlage wird der Abbaubeginn nicht dadurch verzögert, dass noch kein betriebsbereites Endlager existiert.

Geleitet vom aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik werden auch die für die Stilllegung relevanten Gesetze und Verordnungen angepasst. Weiterhin ist die Bewertung von Gesundheitsrisiken für Mensch und Umwelt, wie z. B. durch ionisierende Strahlung, Feinstaub oder Lärm, von Veränderungen betroffen und kann zu Anpassungen bei Abbaumaßnahmen führen, welche gegebenenfalls von der Ursprungsplanung abweichen. Auch das kann Auswirkungen auf den Projektfortschritt haben. Dem für den Abbau verantwortlichen Betreiber obliegt es zu entscheiden, mit welcher Personalstärke der Abbau vollzogen wird. Die Personalstärke hängt zudem vom Anlagenzustand ab und schwankt zwischen unter 100 und etwa 1.000 Personen.



PERSONAL

Beim Abbau ist sowohl Eigen- als auch Fremdpersonal im Einsatz. Für bestimmte Maßnahmen, wie beispielsweise die Systemdekontamination oder die Zerlegung der Kerneinheiten, wird auf spezialisierte externe Dienstleister zurückgegriffen. Die Verantwortung für die Sicherheit verbleibt aber auch dabei beim Betreiber.



HILFSANLAGENGEBÄUDE

- 10. Abwasseraufbereitung
- 11. Lüftung

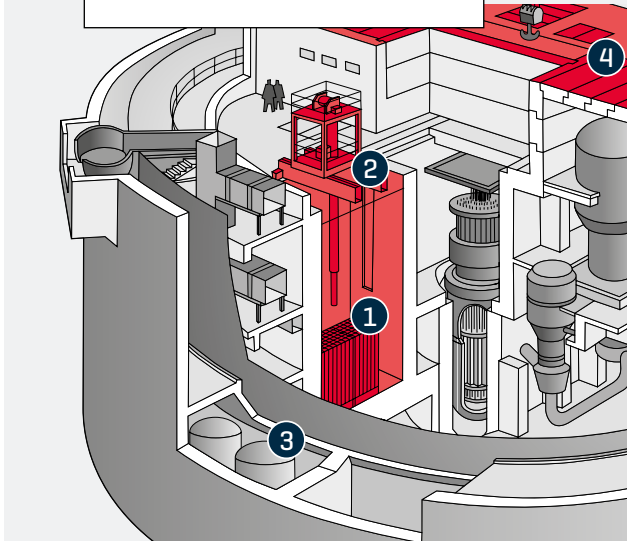
REAKTORGEBÄUDE

- 1. Reaktordruckbehälter
- 2. Dampferzeuger
- 3. Biologischer Schild
- 4. Hauptkühlmittelpumpe
- 5. Druckspeicher
- 6. Brennelementlagerbecken
- 7. Sicherheitsbehälter
- 8. Stahlbetonhülle
- 9. Ringraum

17

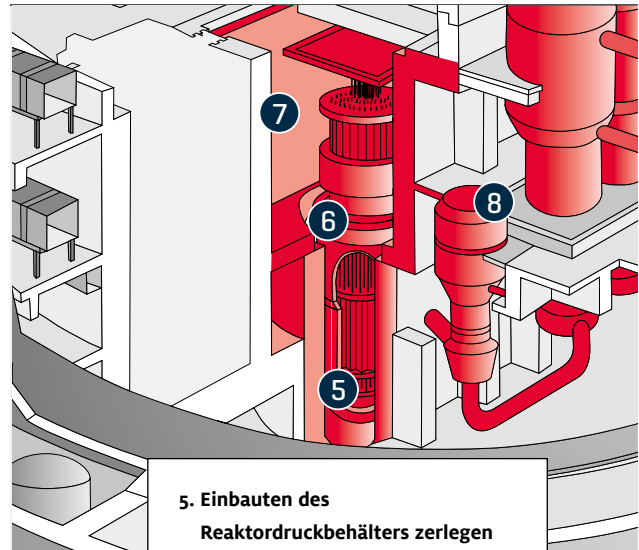
VORBEREITENDE MAßNAHMEN

1. Brennelemente entladen
2. Systeme und Einrichtungen, die nicht mehr benötigt werden, stillsetzen und demontieren, z. B. Brennelementelagergestelle und Lademaschine
3. Platz für Reststoffbehandlungszentrum schaffen und Behandlungstechnik aufbauen
4. Betonriegel entfernen



18

ABBAU VON GROßKOMPONENTEN

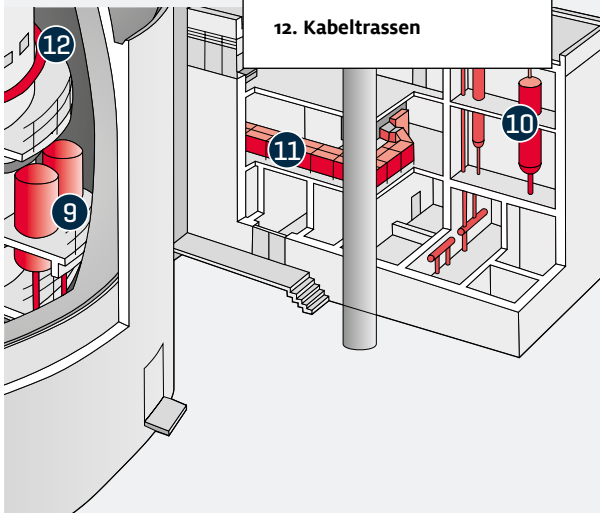


5. Einbauten des Reaktordruckbehälters zerlegen
6. Demontage Reaktordruckbehälter
7. Demontage der Betonabschirmung
8. Begleitend: Demontage von Rohrleitungen, Armaturen, Pumpen und Dampferzeugern

19

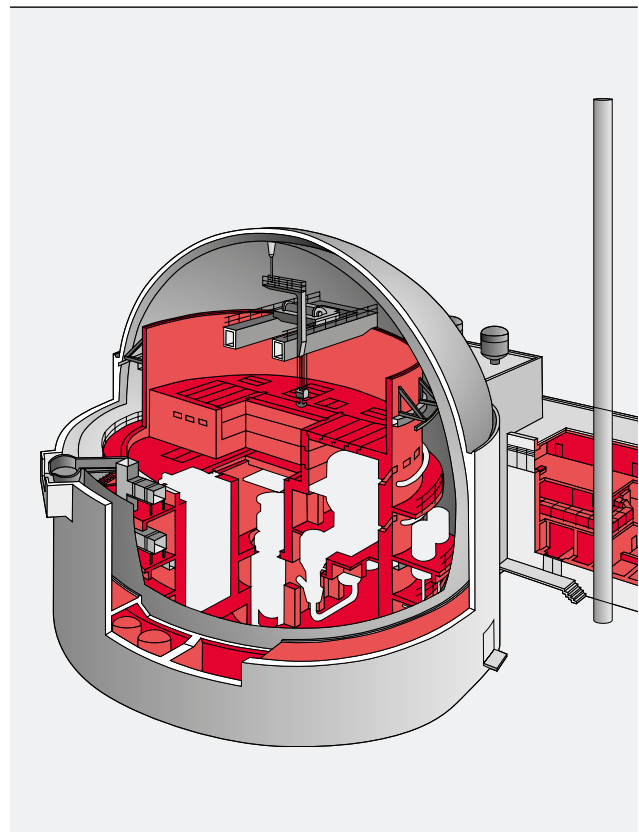
ABBAU VON INFRASTRUKTUR

9. Druckspeicher
10. Abwasseraufbereitung
11. Lüftung
12. Kabeltrassen



20

DEKONTAMINATION UND ABBAU DER GEBÄUDE





EINSCHMELZEN

Nach dem Einschmelzen von aktivierten Metallen befindet sich der Großteil der radioaktiven Stoffe in der sogenannten Schlacke, sodass der Stahl überwiegend wiederverwertet werden kann. Der radioaktive Restabfall muss der Endlagerung zugeführt werden.

3.3 Alternativen zur Zerlegung vor Ort

Großkomponenten, wie Dampferzeuger, Hauptkühlmittelpumpen oder Reaktor-druckbehälter, müssen nicht immer vor Ort zerlegt werden, sondern können zur weiteren Verarbeitung oder zur Abklinglagerung im Ganzen abtransportiert werden. So wurden die Dampferzeuger des Kernkraftwerks Stade (KKS) nach einer ersten Dekontamination zur Weiterverarbeitung und zum Einschmelzen verschifft [Abb. 21](#). Der Großteil der radioaktiven Stoffe befindet sich danach in der Schlacke, also in einer nach dem Schmelzen zu einer glasartigen Masse erstarrten Form, sodass der Stahl überwiegend wiederverwertet werden kann. Der radioaktive Restabfall muss der Endlagerung zugeführt werden.

Bei Teilen, deren Radioaktivität auch nach Dekontamination noch über den für eine Freimessung maßgeblichen Grenzwerten liegt, kann eine Abklinglagerung in Betracht gezogen werden. Das Material

wird bei diesem Verfahren so lange gelagert, bis die vorhandene Aktivität hinreichend niedrig ist, um eine Freigabe durchzuführen [Kap. 7.2](#). Dabei wird die sogenannte Halbwertszeit der radioaktiven Stoffe ausgenutzt.

Bei Strukturen, die durch Neutronen aktiviert wurden, sind die Radionuklide über das Volumen der jeweiligen Struktur verteilt, weshalb sie sich durch Dekontaminationsverfahren nicht beseitigen lassen. Eine Abklinglagerung vor der Bearbeitung wird genutzt, um die Exposition des Personals deutlich zu verringern. Insbesondere Großkomponenten wie Dampferzeuger oder Reaktordruckbehälter werden teilweise über mehrere Jahre oder Jahrzehnte zwischengelagert, bevor sie weiter zerlegt und bearbeitet werden. Viele solcher Großkomponenten lagern zurzeit im Zwischenlager Nord bei Greifswald [Abb. 22](#).

24.000

JAHRE HALBWERTSZEIT

hat Plutonium-239

30

JAHRE HALBWERTSZEIT

hat Cäsium-137

5,3

JAHRE HALBWERTSZEIT

hat Kobalt-60

HALBWERTSZEIT

Die Halbwertszeit ist die Zeitspanne, nach der im Durchschnitt die Hälfte aller Atomkerne eines Radionuklides zerfallen ist, wodurch sich auch die Aktivität halbiert. Nach dem Ablauf einer weiteren Halbwertszeit halbiert sich die Aktivität abermals usw. Nach Ablauf von zehn Halbwertszeiten ist daher die ursprüngliche Aktivität eines Radionuklids um etwa den Faktor 1.000 kleiner. Die Halbwertszeit ist spezifisch für jedes Radionuklid und kann sich bei unterschiedlichen Radionukliden um viele Größenordnungen unterscheiden.

So liegt die Halbwertszeit von z. B. Kobalt-60 (^{60}Co) bei etwa 5,3 Jahren, bei Cäsium-137 (^{137}Cs) bei etwa 30 Jahren und bei Plutonium-239 (^{239}Pu) bei etwa 24.000 Jahren.

Radionuklide mit sehr viel kürzeren Halbwertszeiten (Tage bis hinunter zu Millisekunden) spielen weder bei der Stilllegung noch bei der Abklinglagerung eine Rolle.



21



22

21. Kernkraftwerk Unterweser

Der Ausbau eines Dampferzeugers am Stück ist eine logistische Herausforderung. Ausheben, Kippen und Ablegen werden exakt geplant.

22. Zwischenlager Nord (ZLN)

Im ZLN wird die sogenannte Abklinglagerung von Großkomponenten wie Dampferzeugern praktiziert, die aus dem Abbau der Kernkraftwerke Greifswald und Rheinsberg stammen. Dabei klingt über mehrere Jahrzehnte vor allem die Aktivität des Co-60 ab.

23. Hochtemperaturreaktor AVR

Der Reaktordruckbehälter des AVR bei Jülich wurde 2015 mit einem Spezialfahrzeug in das eigens dafür errichtete Standortzwischenlager transportiert.



23



24. Kontrollraum im stillgelegten

Kernkraftwerk Brokdorf So wie für den Betrieb eines Kernkraftwerks genaue Regelungen und Vorgaben bis zur Ebene der Betriebsführung existierten, folgt auch die Stilllegung klaren Regeln, die mit fortschreitendem Abbau nach und nach angepasst werden müssen. Dies ist Gegenstand kontinuierlicher behördlicher Aufsicht.

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für Stilllegung und Abbau kerntechnischer Anlagen ergeben sich aus dem Atomgesetz (AtG) sowie weiterem gesetzlichen und untergesetzlichen Regelwerk. Dieses wird in [Kap. 5.1](#) skizziert. Das AtG schreibt vor, dass für Stilllegung und Abbau eine Genehmigung der zuständigen Behörde erforderlich ist [Kap. 4.2](#), die im Rahmen des Genehmigungsverfahrens prüft, ob die

vorgelegte Planung für Stilllegung und Abbau im Einklang mit den rechtlichen Rahmenbedingungen steht. Nach Erteilung einer Stilllegungs- und Abbaugenehmigung und bis zur formellen Entlassung der Anlage aus der atomrechtlichen Überwachung unterliegt der Betreiber wie auch zuvor im Leistungsbetrieb der Aufsicht der nach Atomrecht zuständigen Behörde [Kap. 4.3](#).

4.1 Der Rechtliche Rahmen

Das deutsche Regelwerk für kerntechnische Anlagen kann in Form der sogenannten Regelwerkspyramide dargestellt werden [Abb. 25](#). Diese unterteilt das Regelwerk in sieben Ebenen, denen verschiedene Verbindlichkeiten im atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren zugeordnet werden. Das Grundgesetz gibt grundlegende Prinzipien vor und regelt u. a., dass die Gesetzgebungskompetenz hinsichtlich der Kernenergienutzung sowie dem Schutz gegen Gefahren durch ionisierende Strahlung ausschließlich beim Bund liegt. Des Weiteren wird im Grundgesetz geregelt, dass bundesgesetzliche Regelungen, die aufgrund der Gesetzgebungskompetenz des Bundes erlassen wurden, durch die Länder in Bundesauftragsverwaltung auszuführen sind. Der Bund nimmt die Bundesaufsicht, welche sich auf Gesetzmäßigkeit und Zweckmäßigkeit der Ausführung erstreckt, gegenüber den Ländern wahr.

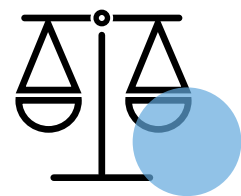
Grundlegende Gesetze sind für die zivile Nutzung der Kernenergie in Deutschland das Atomgesetz (AtG) und für den Strahlenschutz das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG). Das AtG enthält in § 7 Abs. 3 die grundlegende Vorschrift für die Genehmigung von Stilllegung und Abbau einer kerntechnischen Anlage. Das StrlSchG legt die Grundsätze zum Strahlenschutz fest

und trifft Regelungen zum Schutz des Menschen und der Umwelt vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung.

Zur weiteren Konkretisierung des AtG wurden mehrere Verordnungen durch die Bundesregierung und den Bundesrat erlassen. Für die Stilllegung sind dabei die Atomrechtliche Verfahrensverordnung (AtVfV) und die Atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung (AtSMV) von besonderer Bedeutung.

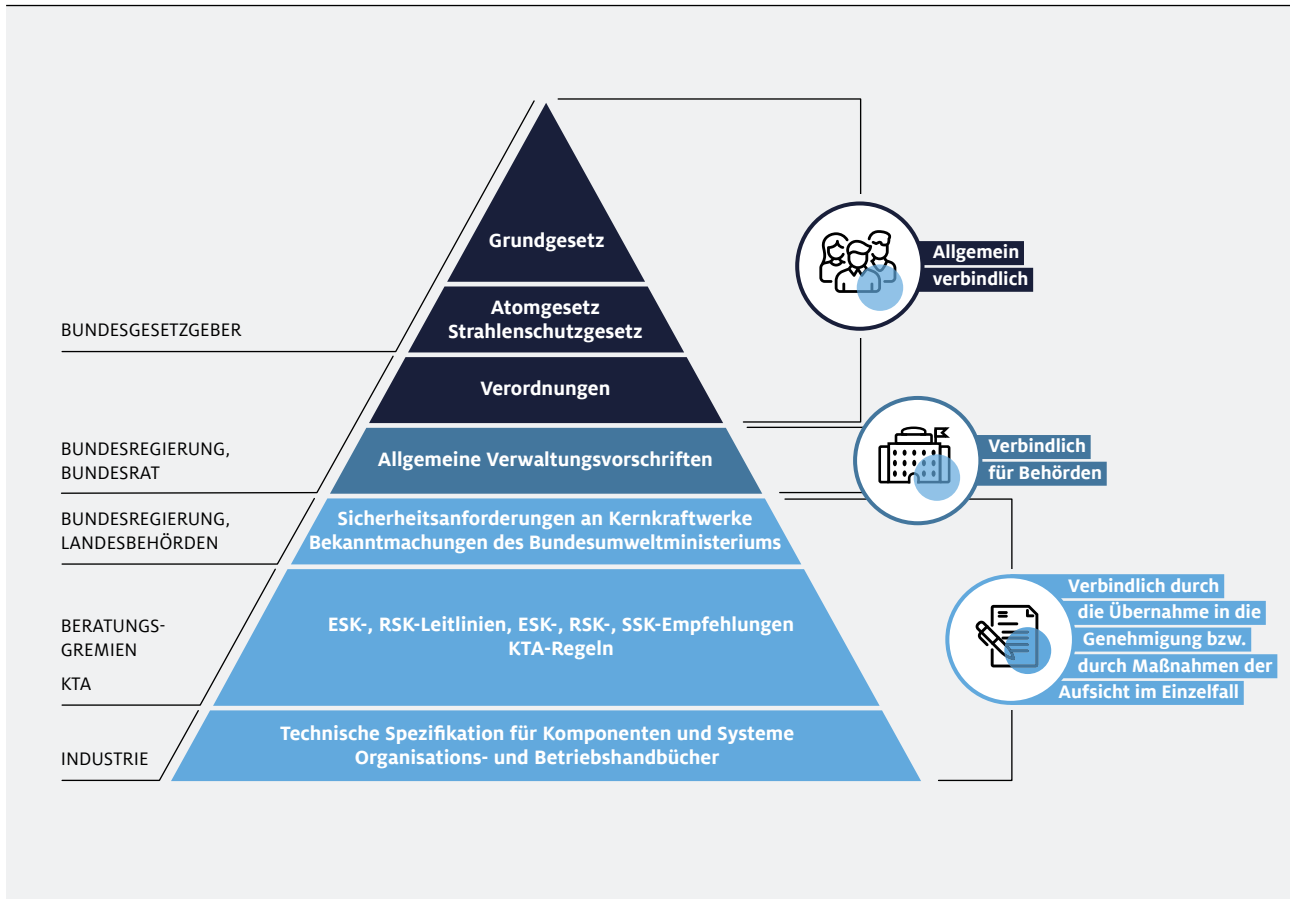
Die AtVfV regelt u. a. das atomrechtliche Genehmigungsverfahren, die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung sowie die Einbeziehung der Öffentlichkeit (Öffentlichkeitsbeteiligung) im Rahmen von atomrechtlichen Genehmigungsverfahren. Regelungen zu den Meldekriterien für meldepflichtige Ereignisse bei kerntechnischen Anlagen [Kap. 5.3](#) sind in der AtSMV enthalten.

Die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) ergänzt und konkretisiert die Regelungen des StrlSchG. Sie regelt den Umgang mit radioaktiven Stoffen sowie den Betrieb von Anlagen, die ionisierende Strahlung erzeugen. Der Begriff „Umgang“ wird im deutschen gesetzlichen Regelwerk in § 5 Abs. 39 StrlSchG definiert und umfasst die



StrlSchG und AtG

Grundlegende Gesetze für die zivile Nutzung der Kernenergie in Deutschland sind das Atomgesetz (AtG) und das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG).



Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung sowohl künstlich erzeugter als auch natürlich vorkommender radioaktiver Stoffe. Die StrlSchV beschreibt in Kap. 5, §§ 47 bis 51 zudem die Anforderungen an Personen, die mit radioaktiven Stoffen arbeiten, einschließlich der notwendigen Fachkunde, der rechtlichen Befugnisse und der damit verbundenen Pflichten und ebenso die ärztliche Überwachung des Gesundheitszustands beruflich strahlenexponierter Personen (Abschnitt 2 und 3) sowie die messtechnische Überwachung der Umwelt (Abschnitt 6). Ein weiterer zentraler Bestandteil der StrlSchV ist

die Regelung zur Freigabe von radioaktiven Stoffen in §§ 31 bis 42. Hierbei werden spezifische Kriterien und Aktivitätswerte zur Freigabe festgelegt.

Das für das Atom- und Strahlenschutzrecht zuständige Bundesumweltministerium beaufsichtigt im Rahmen der Bundesaufsicht die Gesetzmäßigkeit und Zweckmäßigkeit des Handelns der Bundesländer, die in Bundesauftragsverwaltung AtG und StrlSchG sowie die entsprechenden Verordnungen ausführen.

Das Bundesumweltministerium wird bei der Erfüllung seiner Aufgaben im

Bereich des Atom- und Strahlenschutzrechts von nachgeordneten Fachbehörden, dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und dem Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE), unterstützt. Darüber hinaus kann es für Aufgaben im Strahlenschutz, in der Sicherheit kerntechnischer Anlagen, in der sicheren Entsorgung radioaktiver Abfälle sowie in bundesaufsichtlichen Prüfverfahren auf Beratungsgremien zurückgreifen. Diese Gremien sind die Strahlenschutzkommission (SSK), die Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) und die Entsorgungskommission (ESK).

Unterhalb der Ebene der Rechtsnormen, also insbesondere der oben genannten Gesetze und Verordnungen, existieren weitere Regelungen und Richtlinien. Diese erhalten ihre regulatorische Kraft, indem auf sie in atom- und strahlenschutzrechtlichen Genehmigungen Bezug genommen wird. Dem untergesetzlichen Regelwerk kommt die Aufgabe zu, Maßgabe für den Stand von Wissenschaft und Technik zu sein, den es im kerntechnischen Umfeld einzuhalten gilt. Dies sind z. B. Empfehlungen der ESK, RSK und SSK und Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA). Hier-

zu zählen auch die Bekanntmachungen des Bundesumweltministeriums, wie beispielsweise der „Leitfaden zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss und zum Abbau von Anlagen oder Anlagenteilen nach § 7 des Atomgesetzes“ vom 16. September 2021 (Stilllegungsleitfaden), der zusammen mit den zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden der Länder erarbeitet wurde. Er enthält alle relevanten Aspekte des Genehmigungs- und Aufsichtsverfahrens sowie Regelungen für die Vorgehensweise bei Stilllegung und Abbau kerntechnischer Anlagen und dient zur Vereinheitlichung des Vorgehens der Länder bei der Genehmigungs- und Aufsichtspraxis.

Die Regelungen des Stilllegungsleitfadens betreffen die Anwendung des untergesetzlichen Regelwerks, die Planung und Vorbereitung von Stilllegung und Abbau sowie die Genehmigung und Aufsicht. Die ESK hat am 5. November 2020 die Empfehlung „Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen“ in aktualisierter Fassung veröffentlicht. Diese Leitlinien enthalten technische Anforderungen und bilden eine fachliche Grundlage in Aufsichts- und Genehmigungsverfahren.



HOHER PRÜFAUFWAND

Bislang wurden im Rahmen von Stilllegungsverfahren in Deutschland über 100 atomrechtliche Genehmigungen erteilt. Neben dem Atom- und Strahlenschutzrecht sind auch zahlreiche andere Rechtsgebiete betroffen, beispielsweise Wasserrecht, Baurecht und Immissionschutzrecht. Hier sind vielfach andere Fachbehörden zu beteiligen.

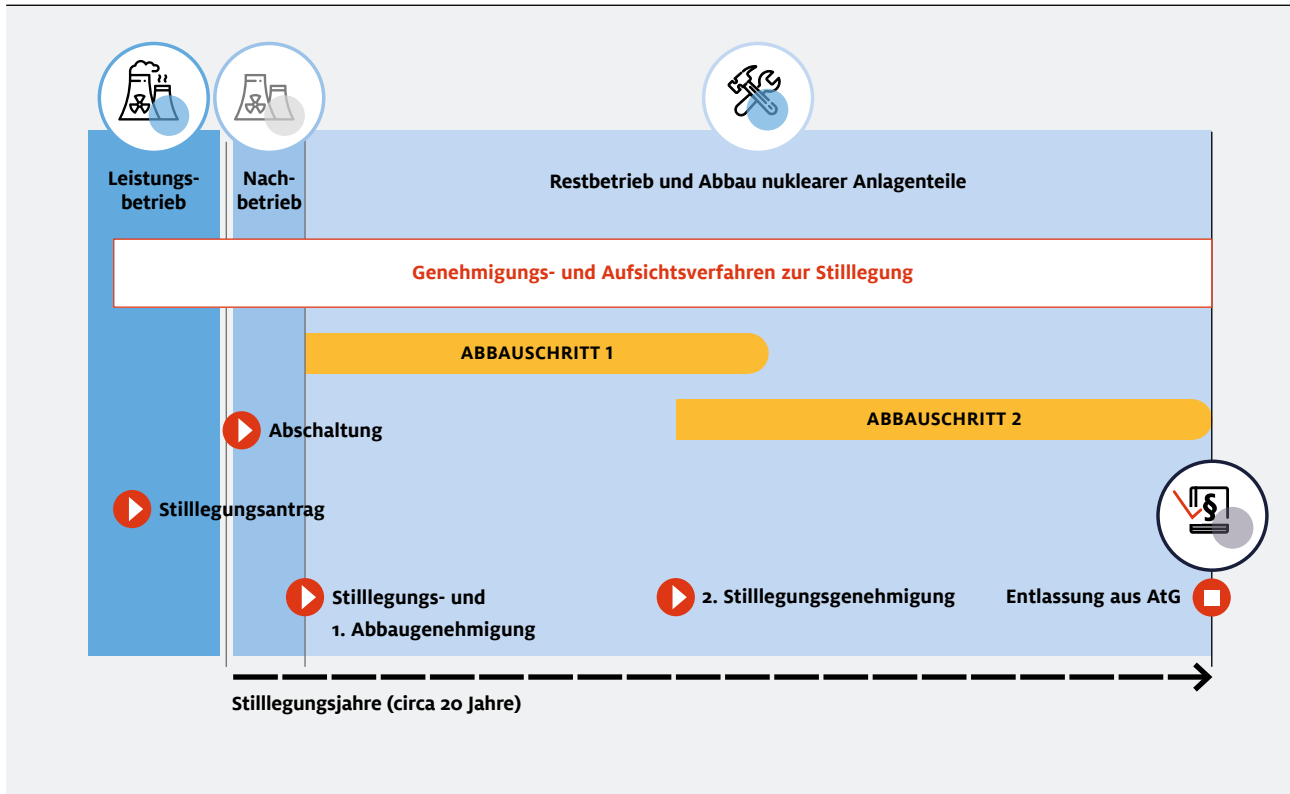
4.2 Genehmigungsverfahren

Soll eine kerntechnische Anlage, deren Errichtung und Betrieb nach dem Atomgesetz genehmigt worden war, stillgelegt werden, so muss der Betreiber bzw. Eigentümer der Anlage eine Stilllegungs- und Abbaugenehmigung beantragen. Bei größeren Anlagen kann es zweckmäßig sein, das Genehmigungs- und Abbauverfahren auf mehrere Genehmigungen aufzuteilen. Ein beispielhaftes zeitliches Ablaufschema für Stilllegung und Abbau eines Leistungsreaktors ist in [Abb. 26](#) dargestellt.

In der ersten Genehmigung werden alle geplanten Maßnahmen zu Stilllegung und Abbau und die Umsetzung der weiteren Genehmigungsschritte in den Blick genommen. Hierzu wird im Rahmen des Genehmigungsverfahrens insbesondere beurteilt, ob alle Stilllegungsmaßnahmen sinnvoll aufeinander abgestimmt sind und es zu keinen Erschwernissen durch die gewählte Reihenfolge kommt. Der erste Genehmigungsschritt umfasst auch eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) im

26

BEISPIELHAFTES ABLAUFSCHEMA FÜR DIE STILLEGUNG MIT MEHREREN PHASEN

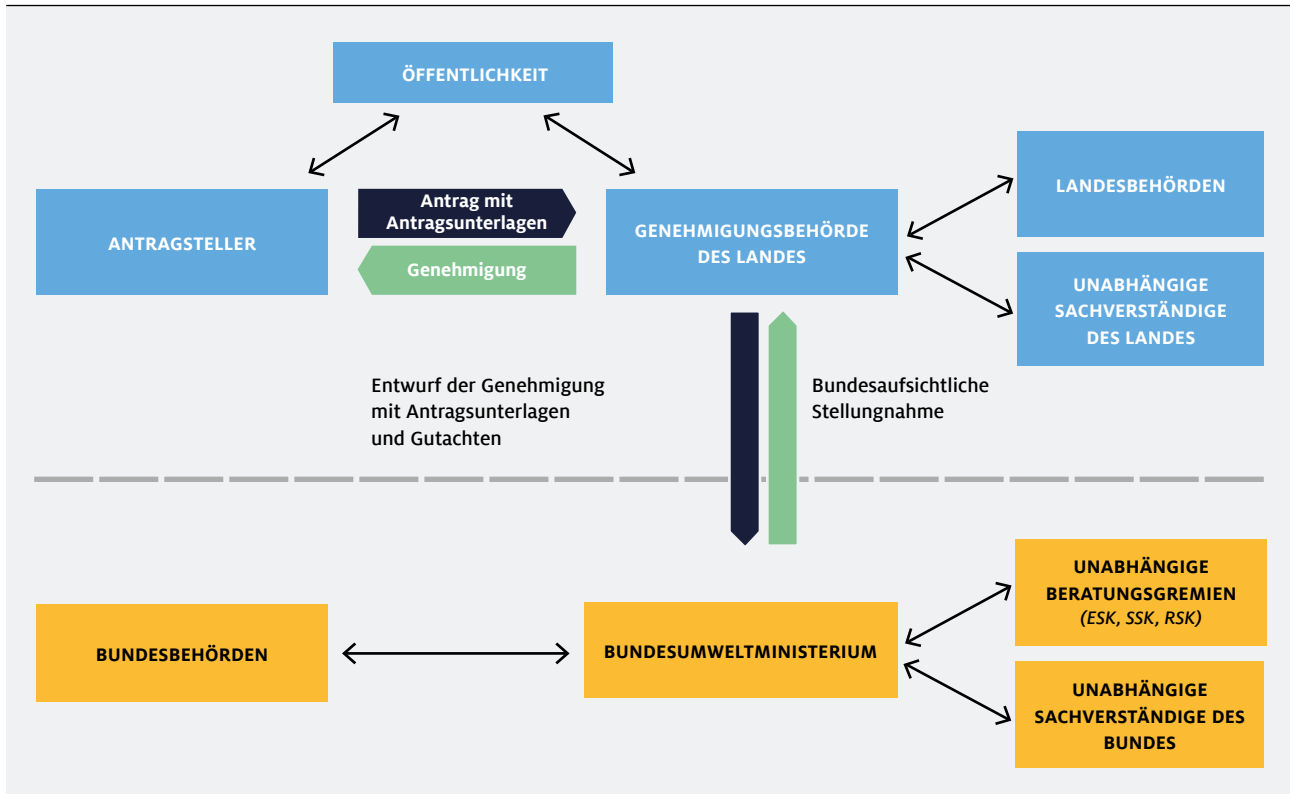


Sinne des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) für das gesamte Vorhaben. Nach § 19b Absatz 3 AtVfV erstreckt sich die UVP dann auf die insgesamt geplanten Maßnahmen zur Stilllegung.

Der Antrag auf Erteilung einer Genehmigung muss von dem Betreiber bzw. Eigentümer der kerntechnischen Anlage bei der jeweils zuständigen Landesbehörde des Bundeslandes, in welchem sich die Anlage befindet, gestellt werden. Mit dem Antrag sind bestimmte Unterlagen und Informationen vorzulegen, in denen beispielsweise die beantragte Vorgehensweise, geplante Abbaumaßnahmen und anzuwendende Verfahren, die Auswirkungen auf die Umwelt sowie die

Vorkehrungen des Strahlenschutzes dargestellt werden. Näheres zu den vorzulegenden Unterlagen ist in der AtVfV geregelt und im Stilllegungsleitfaden zusammengestellt [Kap. 4.1](#). Die Landesbehörde prüft den Antrag und stellt die Beteiligung der Öffentlichkeit am Genehmigungsverfahren sicher. Sofern erforderlich, führt der Betreiber bzw. Eigentümer der Anlage in Absprache mit der Behörde eine Umweltverträglichkeitsprüfung durch.

Das Verfahren zur Erteilung einer Stilllegungs- und Abbaugenehmigung wie auch die Beziehungen zwischen Behörden, Sachverständigen, der Öffentlichkeit und anderen Beteiligten sind in [Abb. 27](#) dargestellt und werden im Folgenden kurz erläutert:



Zur fachlichen Prüfung der Genehmigungsanträge kann die Behörde Sachverständige beratend hinzuziehen. Die Sachverständigen erstellen Gutachten, auf deren Grundlage die Genehmigungsbehörde des Landes entscheidet, ob die Anforderungen an die kerntechnische Sicherheit und den Strahlenschutz erfüllt sind. Die Genehmigungsbehörde des Landes bewertet und entscheidet nach pflichtgemäßem Ermessen.

Das Bundesumweltministerium kann eine bundesaufsichtliche Prüfung anordnen und die Genehmigungsbehörde des Landes bitten, diese vor der Genehmigungserteilung zu ermöglichen. Auch das Bundesumweltministerium kann bei Bedarf Sachverständige zur fachlichen Unter-

stützung hinzuziehen sowie sich durch seine Beratungsgremien beraten lassen. Das Ergebnis der Prüfung wird der Genehmigungsbehörde in einer Stellungnahme übermittelt.

Auf der Grundlage der Antragsunterlagen, der Gutachten der Sachverständigen sowie der Stellungnahmen des Bundesumweltministeriums und der beteiligten Behörden und unter Berücksichtigung der Einwendungen aus der Öffentlichkeit trifft die Genehmigungsbehörde des Landes ihre Entscheidung. Der atomrechtlichen Genehmigungsbehörde des Landes obliegt die Zuständigkeit für die Erteilung sowie gegebenenfalls die Rücknahme oder den Widerruf von atomrechtlichen Genehmigungen.



28



29

28. Kontrolle technischer Einrichtungen

Eine wichtige Rolle bei der behördlichen Aufsicht spielen Prüfungen vor Ort in der stillzulegenden Anlage. Hierbei stützen sich die Aufsichtsbehörden häufig auf unabhängige Sachverständige, die im Auftrag der Behörde tätig werden.

29. Öffentlichkeitsbeteiligung

Die Beteiligung der betroffenen Öffentlichkeit ist ein integraler Bestandteil des Genehmigungsverfahrens. Dazu gehört beispielsweise, die gegen das beantragte Stilllegungsprojekt erhobenen Einwendungen durch Dritte in öffentlichen Terminen zu erörtern.

4.3 Aufsichtsverfahren

Die im Rahmen der Stilllegungs- und Abbaugenehmigung durchgeführten Tätigkeiten werden von der zuständigen Aufsichtsbehörde des Landes überwacht, in dem sich die kerntechnische Anlage befindet. Auch die zuständige Behörde hat die Möglichkeit, sich in technischen Fragen durch Sachverständige gemäß § 20 AtG unterstützen und unabhängige Kontrollen vor Ort durchführen zu lassen. Zweck der Aufsicht ist zu prüfen, ob die für die Arbeiten in der Genehmigung festgelegten Bedingungen und erteilten Auflagen sowie die gesetzlichen und untergesetzlichen Anforderungen eingehalten werden. Weiterhin werden die in der Genehmigung festgelegten Techniken und Verfahren [Kap. 6](#) erst im Verlauf des Aufsichtsverfahrens endgültig spezifiziert und im Detail geplant.

So können zum Beispiel für den Abbau von Großkomponenten, wie den Dampferzeugern eines DWR, in der Genehmigung zwei mögliche Optionen skizziert werden: die Zerlegung in Einbaulage oder ein Ausschleusen als Ganzes und Transport zu einer Schmelzanlage. Die Entscheidung erfolgt zu gegebener Zeit im Aufsichtsverfahren, in dem dann auch detaillierte Planungen zur Prüfung vorgelegt werden müssen.

Im Laufe der Stilllegung sind häufig Änderungen an kerntechnischen Anlagen zur Anpassung an die Abbausituation notwendig, die zu den sogenannten nicht wesentlichen Änderungen zählen und nicht unter die nach § 7 AtG genehmigungspflichtigen Tätigkeiten [Kap. 4.2](#) fallen. Nicht wesentliche Änderungen werden im Allgemeinen in bundeseinheitlich etablierten Änderungsverfahren gemäß den Ausführungen aus dem Aufsichtshandbuch bearbeitet. Diese Änderungsverfahren wer-

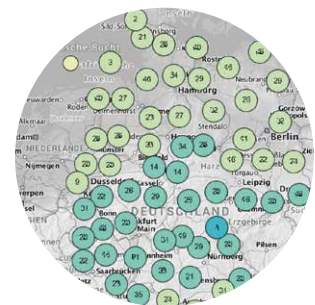
den durch die Aufsichtsbehörde des Landes mit der Erteilung der Stilllegungs- und Abbaugenehmigung konkretisiert. Dies kann u. a. Anpassungen an Systemen zur Aufrechterhaltung von Sicherheitsfunktionen, Stillsetzung und Abbau von Teilsystemen sowie Änderungen oder Errichtung von mobilen Einhausungen betreffen.

Je nach ihrem Umfang und den Auswirkungen auf die Sicherheit der Anlage werden Änderungen einer Kategorie zugeordnet. So wird sichergestellt, dass Änderungen an sicherheitstechnisch wichtigen Systemen, die der höchsten Kategorie zugeordnet werden, durch Sachverständige geprüft, gegebenenfalls abgenommen und durch die Landesbehörde genehmigt werden. Geringfügigere Änderungen können je nach Kategorie durch Anzeige bei der Behörde vom Betreiber selbstständig durchgeführt werden.

Zu den Aufgaben der Aufsichtsbehörde zählen bis zur Entlassung aus der atomrechtlichen Aufsicht u. a. auch die Überprüfung, ob der Betreiber den betriebsinternen Strahlenschutz [Kap. 5](#) gemäß den gesetzlichen Vorgaben umsetzt, sowie die Überwachung von Ableitungen radioaktiver Stoffe durch eine kerntechnische Anlage in die Umgebung. Dazu stehen Daten von Messstationen des Betreibers in der näheren Umgebung des Kraftwerks sowie solche des Integrierten Mess- und Informationssystems (IMIS) des Bundesamts für Strahlenschutz zur Verfügung. Weiterhin werden die Ableitungen von Luft und Wasser aus der Anlage messtechnisch überprüft. Die entsprechenden Daten werden rund um die Uhr automatisch über die Kernreaktorfernüberwachung an die zuständigen Aufsichtsbehörden übermittelt.

ca. **1.700**
MESSSTELLEN

Das Bundesamt für Strahlenschutz (Bfs) betreibt das Integrierte Mess- und Informationssystem (IMIS) zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt. IMIS erfasst automatisch und rund um die Uhr die sogenannte Gamma-Ortsdosisleistung, die an den Messstellen herrscht. Diese sind in einem 20 x 20-Kilometer-Raster flächendeckend über die Bundesrepublik verteilt.



5

SICHERHEIT UND STRAHLENSCHUTZ

Sicherheit und Strahlenschutz stehen bei der Stilllegung im Mittelpunkt: Maßnahmen gegen Kontamination, klare Grenzwerte und technische Barrieren schützen Personal, Bevölkerung und Umwelt – auch bei Störfällen.



30. Dekontamination

Radioaktiv kontaminierte Teile aus dem Kernkraftwerk Greifswald werden manuell dekontaminiert.

Die Sicherheit bei der Stilllegung kerntechnischer Anlagen wird durch eine Reihe von technischen und administrativen Maßnahmen gewährleistet. Ziel ist es, das Betriebspersonal, die Bevölkerung und die Umwelt vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung zu schützen. Dieser Schutz muss

nicht nur bei allen bestimmungsgemäßen Arbeiten sichergestellt sein, die mit der Stilllegung verbunden sind, sondern auch bei Störfällen. Wie in konventionellen Industrieanlagen sind außerdem auch Aspekte wie Arbeitsschutz und Unfallverhütung relevant.

5.1 Sicherheitsbetrachtungen

Das Gefährdungspotenzial einer kerntechnischen Anlage liegt insbesondere in ihrem radioaktiven Inventar sowie darin, dass ein Teil dieses Inventars durch einen Störfall freigesetzt werden könnte. Bei der Betrachtung möglicher Störfallszenarien bei der Stilllegung werden vor allem abdeckende Fälle (schlimmstmögliche Fälle) wie der Absturz von Lasten oder ein Brand in der Anlage herangezogen. Im Vergleich zum Leistungsbetrieb bei KKW bzw. Betrieb bei Forschungsreaktoren reduziert sich das Gefährdungspotenzial erheblich, insbesondere nach der Verbringung der Brennelemente ins Zwischenlager, aufgrund des abnehmenden radioaktiven Inventars [Abb. 31](#), der nunmehr fehlenden Kettenreaktion sowie der verringerten Drücke und Temperaturen.

Auch während der Stilllegung kann es, wie im Leistungsbetrieb, zu meldepflichtigen Ereignissen kommen. In der Stilllegung sind solche Ereignisse zum Beispiel bei Prüfungen nicht einwandfrei funktionierende Brandschutzeinrichtungen oder das versehentliche Entfernen von noch nicht zum Abbau freigegebenen Rohrleitungen [Kap. 5.3](#).

Vor der Erteilung einer Stilllegungs- und Abbaugenehmigung muss der Antragsteller bestimmte Ereignisse betrachten und deren Auswirkung hinsichtlich der sicherheitstechnischen Relevanz bewerten. Der durch das Bundesumweltministerium veröffentlichte Stilllegungsleitfaden gibt ein

Spektrum von zu analysierenden Ereignissen vor, welches durch den Betreiber mit anlagespezifischen Ereignissen ergänzt werden muss. Die je nach Fall zu betrachtenden Ereignisse sind zum Beispiel Brände, Absturz von Lasten, Komponentenversagen, Erdbeben, Überflutungen oder sogar ein Flugzeugabsturz. Hierbei wird das veränderte Gefährdungspotenzial der kerntechnischen Anlage gegenüber dem Leistungsbetrieb berücksichtigt. Zudem muss der Betreiber darlegen, mit welchen Sicherheitseinrichtungen und administrativen Vorsorgemaßnahmen diese Ereignisse verhindert oder beherrscht werden.

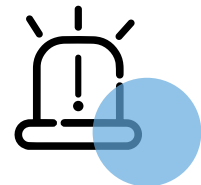
Die vier grundlegenden Schutzziele während der Stilllegung lauten Kontrolle der Reaktivität, Kühlung der Brennelemente, Einschluss der radioaktiven Stoffe sowie Vermeidung unnötiger Strahlenexposition. Diese Schutzziele unterscheiden sich nicht vom Leistungsbetrieb. Sofern sich noch Brennelemente in der Anlage befinden, ist nachzuweisen, dass die geplanten Stilllegungsmaßnahmen den Betrieb der sicherheitstechnisch wichtigen Systeme nicht beeinträchtigen.

Nach der endgültigen Abschaltung der Anlage werden die Brennelemente aus der Anlage entfernt, sodass die beiden erstgenannten Schutzziele entfallen und auch das Aktivitätsinventar auf etwa ein Tausendstel sinkt.



RADIOAKTIVES INVENTAR

Es umfasst alle radioaktiven Stoffe, die sich in einer kerntechnischen Anlage befinden. Dazu gehören die aus der Kernspaltung entstehenden radioaktiven Isotope (Spaltprodukte) und der Kernbrennstoff selbst (Uran-235 und Plutonium-239). Außerdem entstehen durch den Einfang von Neutronen in umgebenden Materialien, der sogenannten Aktivierung, weitere Radionuklide, zum Beispiel Kobalt-60.



STÖRFALL

Als „Störfall“ definiert § 1 Abs. 18 StrlSchV einen „Ereignisablauf, bei dessen Eintreten der Betrieb der kerntechnischen Anlage, der Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlung oder die Tätigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und für den die kerntechnische Anlage oder die Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlung auszulegen ist oder für den bei der Tätigkeit vorsorglich Schutzvorkehrungen vorzusehen sind.“

Über **99%**

DER RADIOAKTIVITÄT

...die in einem Kernkraftwerk bei der letzten Abschaltung vorhanden ist, steckt in den bestrahlten Brennelementen. Sind diese in Behälter verpackt und in ein Zwischenlager verbracht, befindet sich der wesentliche Teil der verbleibenden Aktivität in kontaminierten oder aktivierten Komponenten wie dem Reaktordruckbehälter oder den Dampferzeugern.

Das radiologische Gefährdungspotenzial setzt sich hauptsächlich aus zwei Faktoren zusammen:

1. dem in der Anlage vorhandenen radioaktiven Material – das „Aktivitätsinventar“ – und dem Anteil hiervon, der prinzipiell für eine Freisetzung in die Umgebung und damit für eine potenzielle Gefährdung der Bevölkerung verfügbar ist – die „freisetzungsfähige Aktivität“;
2. der Wahrscheinlichkeit, dass radioaktive Stoffe mit einer bestimmten Aktivität (abhängig von Art und Menge der Stoffe) überhaupt freigesetzt

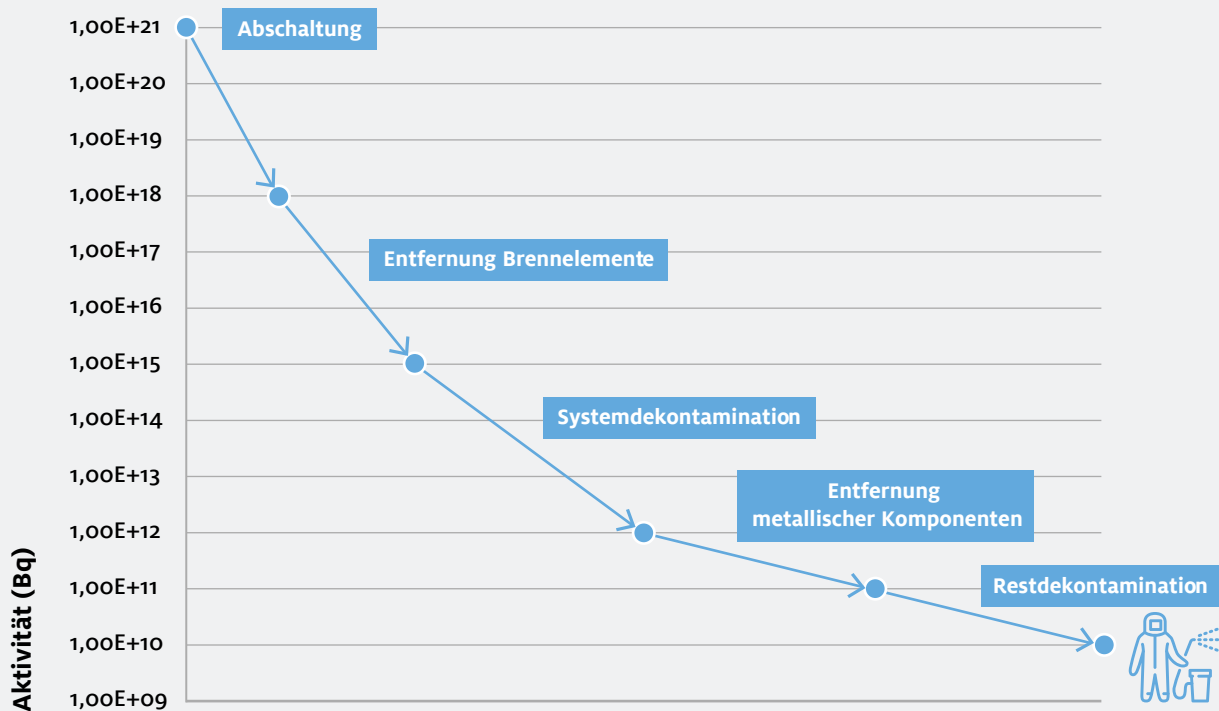
werden – die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Störfalls mit Freisetzung, z. B. infolge eines Brandes oder einer Leckage.

Mit voranschreitender Stilllegung der Anlage wird das Aktivitätsinventar in der Anlage verringert, bis schließlich das Gelände und die noch übrigen Gebäudestrukturen freigegeben werden können [Abb. 31](#).

Im Folgenden wird beschrieben, wie sich das Aktivitätsinventar eines Kernkraftwerkes im Leistungs- und Nachbetrieb sowie in verschiedenen Stadien der Stilllegung entwickelt.

31

ENTWICKLUNG DES AKTIVITÄTSINVENTARS EINES KERNKRAFTWERKS





32

32. Kernkraftwerk Lingen (KWL)

Zur Verhinderung von Kontaminationsausbreitung werden Arbeitsbereiche im KWL mit Folien eingehaust.

33. und 34. Strahlenschutzbereiche

Zur Gewährleistung des Strahlenschutzes müssen Bereiche, in denen mit radioaktiven Stoffen umgegangen wird oder in denen eine erhöhte Ortsdosisleistung vorhanden sein kann, durch Warnhinweise gekennzeichnet werden.



33



34

Leistungsbetrieb

Während des Leistungsbetriebs von Kernkraftwerken befinden sich die Brennelemente im Reaktordruckbehälter, und der Prozess der Kernspaltung läuft. Die Anlage steht im Leistungsbetrieb unter Druck und das Kühlmittel hat Temperaturen von über 300 °C. Ausgedrückt in der Maßeinheit der Aktivität, dem Becquerel (Bq), erreicht das Aktivitätsinventar der Anlage Werte von etwa 10^{20} bis 10^{21} Bq.

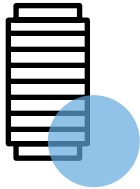
Nachbetrieb

Nach dem endgültigen Ende des Leistungsbetriebs ist die Anlage drucklos und hat eine deutlich niedrigere Temperatur. Auch wenn der Prozess der Kernspaltung nicht mehr läuft, entsteht Nachwärme durch den weiterhin stattfindenden radioaktiven Zerfall der Spaltprodukte und durch Spontanzfall des noch spaltbaren

Materials. Je nach Typ und Zustand der Brennelemente müssen diese daher typischerweise weitere fünf Jahre mit Wasser gekühlt werden. Andernfalls kann es zur Überhitzung der Brennelemente und infolgedessen zu Materialschäden kommen. Im Laufe der Zeit nimmt die Wärmeleistung des Nachzerfalls kontinuierlich ab, sodass schließlich eine Trockenkühlung ausreicht.

Mit Beginn des Abtransportes der Brennelemente zur Zwischenlagerung wird das Aktivitätsinventar in der Anlage deutlich reduziert. Zudem sorgt die Systemdekontamination für eine weitere erhebliche Reduktion des Aktivitätsinventars.

Eine weitere Reduzierung des Aktivitätsinventars kann durch die Entsorgung der radioaktiven Betriebsabfälle erreicht werden. Erfolgt diese Maßnahme



CASTOR®

Die Bezeichnung CASTOR® (Cask for Storage and Transport of Radioactive Material) wird für Transport- und Lagerbehälter eines bestimmten Herstellers verwendet, in denen bestrahlte Brennelemente verpackt und sicher verschlossen werden können. Der Behälter erfüllt damit die Aufgabe des Schutzes von Mensch und Umwelt vor dem radioaktiven Inventar und schützt dieses umgekehrt vor äußeren Einwirkungen.

zusätzlich, reduziert sich das verbliebene radioaktive Inventar noch einmal um 90 %. Es verbleibt nun noch eine Aktivität von etwa 10^{16} bis 10^{17} Bq in der Anlage. Dieses Aktivitätsinventar ist zum größten Teil als Aktivierung fest in den kernnahen Strukturmaterialien der Anlage gebunden. Es kann allenfalls in geringem Umfang mobilisiert werden.

Stilllegung

Während der Stilllegung werden verschiedene Anlagenteile, wie z. B. Reaktoreinbauten, Leitungen und Rohrsysteme, demontiert. Der Abbau erfolgt in der Regel schrittweise und unter Beachtung strenger Sicherheitsvorkehrungen, um eine Gefährdung durch radioaktive Kontamination zu vermeiden und die Rückführung von Material in den konventionellen Stoffkreislauf zu ermöglichen, soweit dies möglich ist. Sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen, wie Versorgungs-, Lüftungs-, Hilfs- und Brandschutzsysteme, werden weiter betrieben bzw. an die geänderten Anforderungen angepasst [Kap. 4.3](#).

Im Zuge der Abbau- und Zerlegearbeiten kann – zeitlich und örtlich begrenzt – der freisetzungsfähige Anteil der radioaktiven Stoffe ansteigen. Dies kann z. B. geschehen, wenn bis dahin geschlossene Rohrleitungen, Behälter usw. geöffnet werden. Durch Strahlenschutzmaßnahmen [Kap. 5.2](#) muss verhindert werden,

dass bei solchen Abbaumaßnahmen radioaktive Stoffe in die Umgebung freigesetzt werden.

Zusätzlich zu den Strahlenschutzaspekten ist auch die konventionelle Arbeitssicherheit Gegenstand der Sicherheitsbetrachtung bei Abbauarbeiten. Neben den Arbeiten selbst können auch gesundheitsgefährdende Materialien wie Asbest-, Chrom- und PCB-haltige Produkte ein Gefährdungspotenzial darstellen. Die Arbeitsschutzausrüstung des Personals und Entsorgungswege müssen daher auch auf diese Stoffe ausgerichtet sein.

Die Arbeitsabläufe nach dem Übergang vom Leistungsbetrieb hin zum Restbetrieb und dem Abbau der Anlage richten sich stärker an einer projekt- bzw. kampagnenorientierten Organisation aus. Etablierte Abläufe, wie sie zuvor durch die Schichtmannschaften eintrainiert und erprobt waren, können nicht mehr eins zu eins angewendet werden, da manche Tätigkeiten nur wenige Male anfallen, oder sich die Randbedingungen der Restanlage stetig verändern. Die Gewährleistung hoher Sicherheitsstandards bei der Anpassung etablierter Verfahren an den Abbau und bei der Anwendung neuer Arbeitsweisen und -techniken stellt eine wesentliche Herausforderung im Übergang vom Leistungsbetrieb zur Stilllegung dar.

5.2 Strahlenschutz

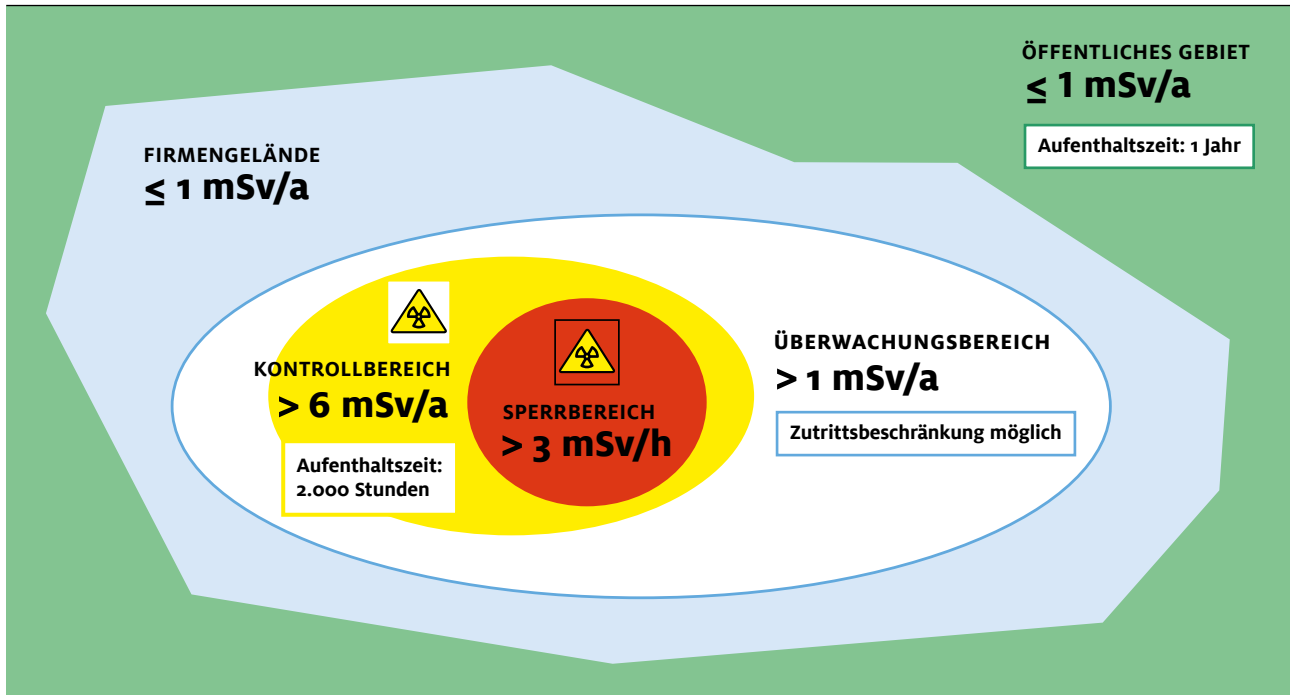
Die verschiedenen Raumbereiche einer kerntechnischen Anlage werden sowohl während des Leistungsbetriebs als auch während der Stilllegung entsprechend ihrer radiologischen Randbedingungen in Strahlenschutzbereiche aufgeteilt. Hierbei wird unterschieden zwischen

- Überwachungsbereich,
- Kontrollbereich und
- Sperrbereich [Abb. 35](#).

Die Bevölkerung und die Umgebung von kerntechnischen Anlagen werden durch das Einhalten von gesetzlichen

35

SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER STRAHLENSCHUTZBEREICHE EINER KERnteCHNISCHEN ANLAGE



36

STRAHLUNGSARTEN

Alpha-, Beta-, Gamma- sowie Neutronenstrahlung sind die vier wesentlichen Arten von ionisierender Strahlung, die bei radioaktiven Zerfallsprozessen auftreten.

ALPHA STRAHLUNG

besteht aus Heliumkernen (sogenannten Alphateilchen), die aus zwei Protonen und zwei Neutronen bestehen. Sie hat eine geringe Durchdringungsfähigkeit und kann weder ein Blatt Papier noch die unverletzte Haut des Menschen durchdringen. Sie ist jedoch sehr schädlich, wenn sie in den Körper gelangt, da sie eine hohe ionisierende Wirkung hat.

BETA STRAHLUNG

besteht aus Elektronen oder Positronen, sogenannten Betateilchen. Sie hat eine höhere Durchdringungsfähigkeit als Alphastrahlung, kann aber bspw. durch Kunststoff oder dünnes Metall abgeschirmt werden. Betastrahlung ist, abhängig von ihrer Energie, ebenfalls schädlich, insbesondere für obere Hautschichten oder die Augenlinse oder wenn Betastrahler (z. B. Tritium) in den Körper gelangen.

GAMMA STRAHLUNG

besteht aus hochenergetischen Photonen (elektromagnetische Strahlung) und hat eine hohe Durchdringungsfähigkeit. Sie kann beispielsweise durch dicke Bleischichten oder mehrere Zentimeter dicken Beton deutlich abgeschwächt werden. Die Auswirkungen auf den menschlichen Körper hängen stark von der Strahlungsenergie ab.

NEUTRONEN STRAHLUNG

ist Teilchenstrahlung, die aus Neutronen (ungeladenen Teilchen) besteht. Sie wird insbesondere bei der Kernspaltung freigesetzt und benötigt aufgrund ihres hohen Durchdringungsvermögens einen stärkeren Einsatz von besonderen Abschirmmaterialien (z. B. Paraffin).



DAS SIEVERT (SV)

ist die Einheit der Äquivalentdosis und der effektiven Dosis. Typische Dosiswerte liegen meist im Bereich von Millisievert (mSv) und Mikrosievert (µSv). Die durchschnittliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenexposition beträgt in Deutschland etwa 2,1 mSv pro Jahr. Je nach Wohnort, Ernährungsweise und Lebensgewohnheiten kann sie zwischen 1 mSv und 10 mSv liegen. Neben der natürlichen Radioaktivität wirkt auf den Menschen auch Strahlung aus medizinischen und technischen Anwendungen, insbesondere durch die Röntgendiagnostik. Die daraus resultierende Strahlenexposition beträgt in Deutschland circa 1,5 Millisievert pro Jahr (Mittelwert, bezogen auf eine einzelne Person).

0,01–0,03
mSv

verursacht eine Röntgenaufnahme des Brustkorbes.

0,1
mSv

kann die Dosis durch Höhenstrahlung bei einem Flug von Deutschland nach Japan betragen.

Grenzwerten – wie z. B. für technisch unvermeidbare Ableitungen von Radionukliden mit der Abluft und dem Abwasser oder Störfallplanungsgrenzwerte – geschützt. Die Grenzwerte sind, wie zuvor auch während des Leistungsbetriebs, in den Genehmigungen, hier den Stilllegungs- und Abbaugenehmigungen, festgelegt und müssen durch geeignete Messungen ständig überwacht werden.

In der Praxis werden auch diese Grenzwerte sowohl während der Leistungsbetriebs- als auch während der Stilllegungsphase weit unterschritten. Die Grenzwerte für die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser aus kerntechnischen Anlagen sind so ausgelegt, dass sie eine Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung von höchstens 0,3 Millisievert im Kalenderjahr hervorrufen.

Da viele Tätigkeiten bei der Stilllegung solchen ähneln, die bei der Instandhaltung der Anlage während des Betriebs notwendig sind, können die etablierten Strahlenschutzprozesse in der Stilllegungsphase genutzt werden. Beim direkten Abbau der Anlage [Kap. 2](#) können daher die Vorgaben zum betrieblichen Strahlenschutz weitgehend übernommen werden, wobei Anpassungen beispielsweise im Hinblick auf die Abfallbehandlung notwendig sein können.

Der Einschluss radioaktiver Stoffe wird mithilfe verschiedener Maßnahmen sichergestellt. Bei Abbautätigkeiten, bei denen mit einer Staubbelastung und einer möglichen Freisetzung radioaktiver Partikel zu rechnen ist, werden u. a. mobile Einhausungen eingesetzt, in denen die Arbeiten mit entsprechenden Schutzmaßnahmen durch das Personal durchgeführt werden können. Die Abluft dieser mobilen Einhausungen wird abgesaugt und mithilfe

von HEPA- (High-Efficiency Particulate Air/ Arrestance) und Aktivkohlefiltern von potenziell schädlichen Partikeln befreit.

Die Lüftungssysteme in der gesamten Anlage sorgen für eine gerichtete Luftströmung hin zu den Filteranlagen, damit sich Partikel nicht unkontrolliert in der Luft verteilen können. Hierzu können nach dem Ende des Leistungsbetriebs die ursprünglichen Lüftungsanlagen für die Belange von Restbetrieb und Abbau umgerüstet werden. Für jegliche Tätigkeiten im Zusammenhang mit ionisierender Strahlung gilt es gemäß § 8 StrlSchG, jede unnötige Exposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden und diese auch unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte so gering wie möglich zu halten (international gilt das ALARA-Prinzip – „as low as reasonably achievable“). Sofern eine bestimmte Tätigkeit notwendig ist, muss dafür Sorge getragen werden, dass ein möglichst großer Abstand zur Strahlenquelle eingehalten, diese möglichst abgeschirmt und die Zeit für die Durchführung so kurz wie möglich gehalten wird.

Zur persönlichen Schutzausrüstung des Personals zählen u. a. spezielle Schutzanzüge, Handschuhe, Überschuhe und gegebenenfalls Atemschutzmasken oder Fremdluftversorgung. Personal, das in der Anlage tätig wird, muss speziell geschult und dabei mit den besonderen Gefahren im Umgang mit radioaktiven Stoffen und den Prinzipien des Strahlenschutzes vertraut gemacht werden. Um eine Exposition des Personals über die Grenzwerte hinaus zu vermeiden, wird durch den Strahlenschutzbeauftragten der Anlage die individuelle Strahlendosis jedes einzelnen Mitarbeitenden dokumentiert und mittels geeigneter Messgeräte wie beispielsweise Personendosimeter kontinuierlich überwacht.



5.3 Meldepflichtige Ereignisse

Betreiber von kerntechnischen Anlagen haben die Pflicht, Ereignisse an die zuständige Aufsichtsbehörde zu melden – auch während der Stilllegung. Die Kriterien und Meldefristen sind in der atomrechtlichen Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung (AtSMV, [Kap. 4.1](#)) geregelt und in deren Anlagen konkretisiert. Die Meldepflicht des Betreibers gilt gemäß AtSMV, bis eine bestimmte Aktivitätsinventargrenze unterschritten ist und auf Antrag eine Befreiung von der Meldepflicht genehmigt wird. Sie endet spätestens, wenn die Anlage vollständig abgebaut und aus der atomrechtlichen Überwachung entlassen ist.

Die jeweils zuständige Aufsichtsbehörde des Landes erhält die Ereignismeldung innerhalb der durch die AtSMV geregelten Frist und bewertet das Ereignis hinsichtlich möglicher Auswirkungen auf die Umgebung, die Sicherheit der Anlage sowie eventuell zu veranlassender

Sofortmaßnahmen. Die Landesbehörde leitet die Meldung an das Bundesumweltministerium, die zentrale Erfassungsstelle beim BASE („Störfallmeldestelle“) und die GRS weiter [Abb. 37](#). Die GRS wertet im Auftrag des Bundesumweltministeriums die Meldung aus. Damit soll sichergestellt werden, dass systematische und auf andere kerntechnische Anlagen übertragbare Ereignisse bzw. Phänomene in anderen Anlagen bekannt werden und entsprechend vorgesorgt wird. In solchen Fällen erstellt die GRS Weiterleitungsnachrichten (WLN), die eine Analyse des Ereignisses und Empfehlungen enthalten.

Die Betreiber haben zu den WLN Stellung zu nehmen. Der Erfahrungsrückfluss wird durch die GRS ausgewertet und an das Bundesumweltministerium, die atomrechtlichen Aufsichtsbehörden, Sachverständige, Betreiber und Hersteller, weitergeleitet.

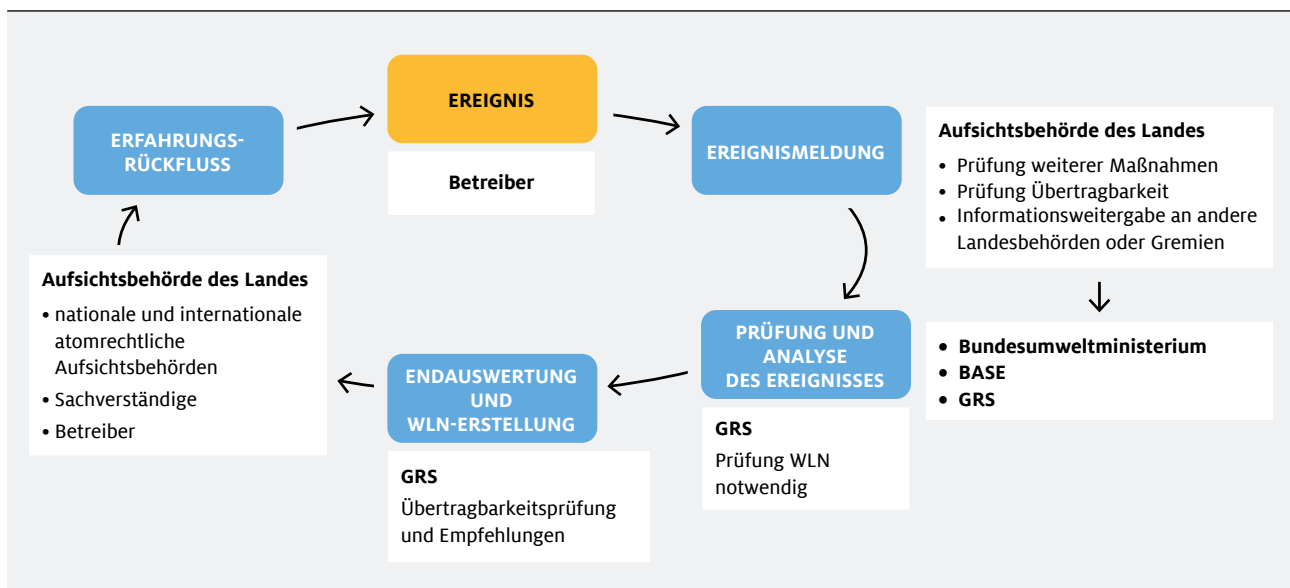
DOSIMETER

Zur Überwachung der individuellen Strahlenexposition der Beschäftigten werden verschiedene Techniken eingesetzt. Das Thermolumineszenz-Dosimeter (links) dient beispielsweise zur Überwachung der Beta- und Gammastrahlung, das Albedodosimeter (Mitte) zur Überwachung der Neutronenstrahlung. Im Strahlenpass (rechts) wird die erhaltene Dosis dokumentiert.



37

ABLAUF UND FOLGEN EINER EREIGNISMELDUNG DURCH DEN BETREIBER





6

TECHNISCHE VERFAHREN

*Dekontaminieren, zerlegen, verpacken:
Der Abbau kerntechnischer Anlagen erfordert spezialisierte
Verfahren – chemisch, mechanisch oder thermisch,
oft fernhantiert und zunehmend digital unterstützt.*



38. Abbautechnik Ein spezieller Spinnenbagger wird in den Schutzbehälter des AVR bei Jülich heruntergelassen, um bei begrenztem Platz den Schutzbehälter und die in ihm befindlichen Betonstrukturen ferngesteuert abzubauen. Dabei stand der Bagger auf den abzubauenden Strukturen und „kletterte“ im Verlauf der Arbeiten nach unten.

Für die Stilllegung werden verschiedene Verfahren u. a. für Demontage, Trennen, Dekontamination, Aktivitätsmessungen oder zur Abfallkonditionierung benötigt. Diese müssen ausgereift, zuverlässig und erprobt sein, sodass sie den Anforderungen gerecht werden, die zum einen an Sicherheit und Strahlenschutz, zum anderen aber auch an eine zügige Projektdurchführung gestellt werden.

Ein Großteil der technischen Verfahren, die in der Stilllegung genutzt werden, wurden für andere Industriezweige entwickelt. Zur Erfüllung der Anforderungen des kerntechnischen Abbaus mussten diese Verfahren beispielsweise durch geeignete Filtersysteme modifiziert werden. Darüber hinaus wurden in der Vergangenheit auch technische Verfahren durch Forschungszentren und Universitäten sowie durch Betreiber und Dienstleister entwickelt. Obschon das Spektrum der zur Verfügung stehenden technischen Verfahren den Bedarf ausreichend deckt, werden auch weiterhin innovative Verfahren entwickelt und etablierte technische Verfahren verbessert.

Für die Auswahl der einzusetzenden technischen Verfahren ist der Betreiber der jeweiligen Anlage verantwortlich. Die Auswahl und der Einsatz der Techniken werden im Anschluss durch die zuständige Behörde und den hinzugezogenen Sachverständigen geprüft, genehmigt und kontrolliert [Kap. 4](#).

Für die Verfahrensauswahl werden eine Vielzahl von Kriterien berücksichtigt, z. B.:

- Strahlenschutzaspekte (Reduzierung der Exposition des Personals),
- Eignung und Effektivität des Verfahrens,
- Freigabeziele von Reststoffen und Anlagenteilen,
- Verringerung des Volumens radioaktiver Abfälle,
- räumliche Randbedingungen,
- Materialaspekte,
- Projektaspekte, (personelle und finanzielle Ressourcen)
- Entsorgungsaspekte und
- sonstige Randbedingungen, wie Verfügbarkeit und Lieferketten.

Da die radiologischen Randbedingungen eine entscheidende Rolle spielen, werden die jeweils relevanten Räume und Systeme radiologisch charakterisiert und anschließend die gewonnenen Informationen in einem sogenannten Kontaminationsatlas zusammengestellt.

Insbesondere für das Trennen und die Nachbearbeitung haben sich fernhandlierte Anwendungen etabliert, der Automatisierungsgrad ist zurzeit aber oftmals noch gering. Ausnahmen finden sich in der Materialbearbeitung, beispielsweise für die Entschichtung metallischer Komponenten in abgeschlossenen Raumbereichen. Zudem werden – insbesondere zu Planungszwecken – zunehmend virtuelle und erweiterte Realitäten genutzt.



QUALIFIZIERTE TECHNIKEN

Bei der Stilllegung von Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen sind ausgereifte und zuverlässige technische Verfahren für das Trennen und die Dekontamination nötig. Diese müssen hohen sicherheitstechnischen Anforderungen gerecht werden und sollen zugleich einen zügigen Projektablauf gewährleisten.

6.1 Technische Dekontaminationsverfahren

Dekontaminationsverfahren dienen der Entfernung von nicht festhaftenden oder festhaftenden sowie über die Oberfläche eingedrungenen Kontaminationen. Eine Kontamination kann durch direkten Kontakt mit einem aktivitätsführenden Medi-

um im Betrieb, etwa dem Primärkühlmittel, verursacht sein. Eine andere Ursache können Leckagen sein. Das breite Spektrum an Dekontaminationsverfahren lässt sich grundsätzlich in chemische und mechanische Verfahren gliedern.



SYSTEMDEKONTAMINATION

Neben einer Reduzierung der Menge an radioaktiven Abfällen dient die Systemdekontamination vor dem eigentlichen Abbau vor allem dazu, die Strahlenexposition der Beschäftigten zu reduzieren. Simulationen der GRS konnten beispielsweise zeigen, dass die Exposition beim Abbau von Dampferzeugern auf diese Weise erheblich reduziert werden kann.

Chemische Verfahren

Chemische Verfahren arbeiten z. B. in einem weiten Bereich schwacher und starker Säuren [Abb. 39](#). Auch mehrphasige, sehr spezialisierte Prozesse werden eingesetzt, ebenso sogenannte Komplexbildner, Schäume oder Gele. Chemische Verfahren eignen sich insbesondere für metallische Komponenten. Es werden je nach Verfahren nicht nur ein Großteil der oberflächlich abgelagerten Radionuklide abgetragen, sondern auch eine dünne Schicht des Grundmaterials, in welches Radionuklide bis zu einigen Millimetern Tiefe eindiffundiert sind. So kann z. B. vor dem Beginn der Demontage der geschlossene Reaktorkühlkreislauf von innen dekontaminiert werden, indem bestimmte Chemikalien in einem festgelegten Prozess durch die Rohrsysteme und Ventile gepumpt und dabei entstandene Reaktionsprodukte (kontaminierte Partikel) anschließend ausgefiltert werden. Diesen Vorgang bezeichnet man als Systemdekontamination. Hierfür werden mehrstufige chemische Verfahren in mehreren Anwendungszyklen verwendet. Bei dem in Deutschland verbreitet eingesetzten HP/CORD®-Verfahren handelt es sich um einen fünfschrittigen Prozess, der Oxidation und Reduktion mit Permangan- bzw. Oxalsäure umfasst. Nach dem Abscheiden der Korrosionsprodukte wird die Permangansäure durch UV-Strahlung zersetzt. Sekundäre Abfälle werden dabei nur geringfügig erzeugt. Zudem werden abgebaute Anlagenteile oft im Rahmen der Nachbearbeitung dekontaminiert, um diese letztlich freigeben zu können [Kap. 7.2](#).

Mechanische Verfahren

Zu den mechanischen Verfahren gehören z. B. Bürsten, Absaugen, Dampfreinigen oder Wasserhochdruckreinigen [Abb. 40](#). Weitere mechanische Verfahren mit Oberflächenabtrag sind etwa Abraspeln, Fräsen oder Nadeln. Es gibt auch verschiedene Strahlverfahren mit festen abrasiven Medien (Schleifmitteln) wie Sand oder Stahlkugeln.

Bei oberflächlicher Kontamination kann es genügen, die Materialoberflächen abzubürsten oder mit Hochdruckwasserstrahlen zu behandeln. Ist die Kontamination tiefer eingedrungen, so muss ein Teil der Oberfläche einige Mikrometer bis wenige Zentimeter abgetragen werden. Dies kann beispielsweise durch Fräsverfahren erfolgen. Das abgetragene Material kann anschließend konditioniert und entsorgt werden.

Die unterschiedlichen Herausforderungen im Abbau regen die Entwicklung neuer Verfahren an, sodass z. B. perspektivisch auch thermische Verfahren wie die Laserablation im größeren Umfang zum Einsatz kommen könnten. Die Auswahl der Verfahren hängt von der Art und Eindringtiefe der Kontamination sowie vom kontaminierten Werkstück ab. Für einige Verfahren ist auch eine fernhantierte Nutzung möglich. Wo dies nicht möglich ist, ist beim Einsatz ein besonderes Augenmerk auf den Schutz des Personals vor Inhalation radioaktiver Stäube (Aerosole) zu legen [Kap. 5.2](#).

6.2 Technische Trenn- und Abbauverfahren

Trenn- und Abbaumaßnahmen bilden einen wesentlichen Teil der Stilllegung. Hierfür stehen etablierte Trennverfahren zur Verfügung, die sich in Abhängigkeit der Randbedingungen unterschiedlich gut eignen. Das

Spektrum der Aufgaben reicht vom einfachen Trennen einer dünnen Rohrleitung, die nie mit radioaktiven Stoffen in Kontakt war, über den Abbau und das Trennen großer Behälter und dickwandiger Rohre, die



39



40

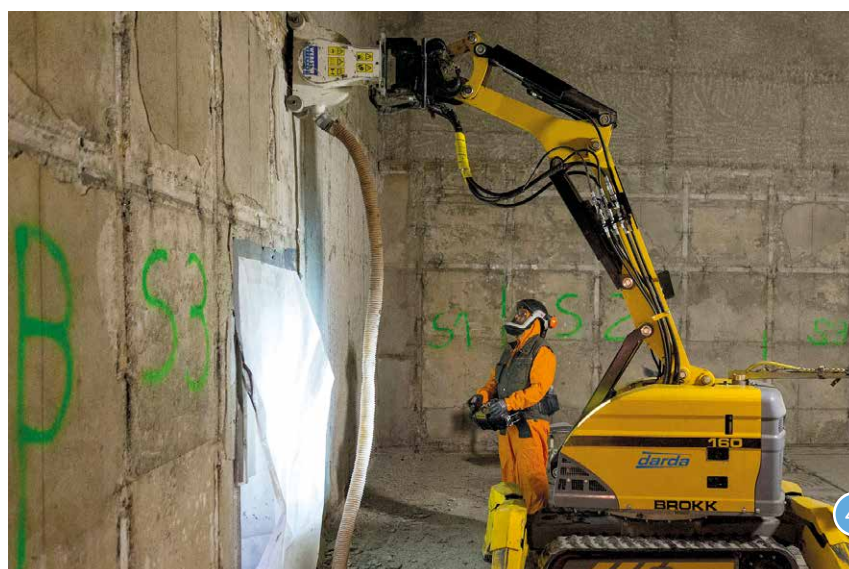
39. Chemische Dekontamination

Im Vollschutzanzug bedient eine Person in der „Zentralen Aktiven Werkstatt“ des Kernkraftwerks Greifswald einen Kran, um ein kontaminiertes Bauteil in ein Bad zur chemischen Dekontamination zu heben.

40. Wasserstrahlen Neben dem Sandstrahlen wird zur Dekontamination von ausgebauten Teilen häufig, wie hier im Kernkraftwerk Greifswald, auch sogenanntes Hochdruckwasserstrahlen eingesetzt.

41. Gebäudedekontamination

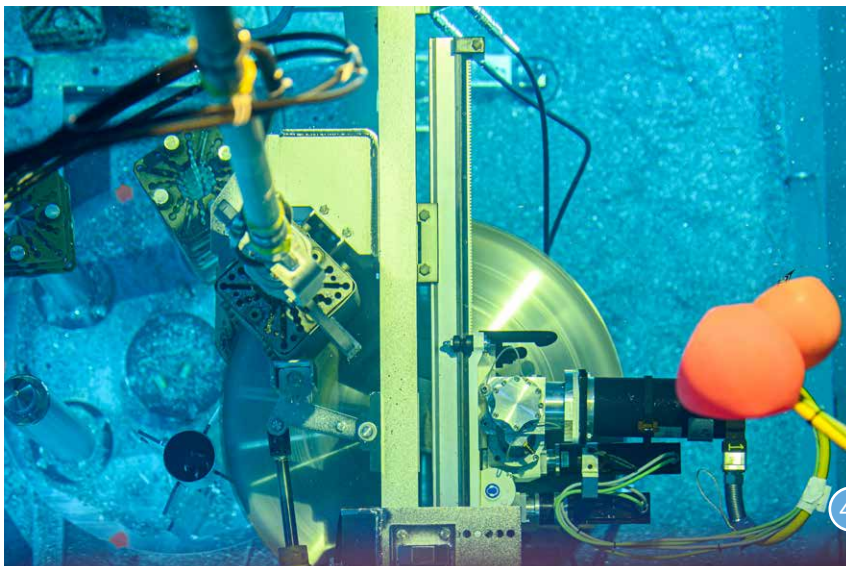
Um Gebäude oder Teile von diesen freigegeben zu können, kann es erforderlich sein, wie hier im Kernkraftwerk Greifswald, kontaminierte Innenoberflächen abzutragen.



41



42



43

42. „Zentrale Aktive Werkstatt“

In einer speziellen Einrichtung am Standort Greifswald wird eine ausgebaute Komponente unter besonderen Schutzvorkehrungen per Brennschneider zerlegt.

43. Kernkraftwerk Unterweser

Die Zerlegung des Reaktordruckbehälters erfolgt unter Wasser. Dies verhindert die Ausbreitung von (radioaktiven) Aerosolen und bietet zugleich eine gute Abschirmung gegen Direktstrahlung.

mit radioaktiven Stoffen in Kontakt waren, bis hin zur Zerlegung des Reaktordruckbehälters und dessen Einbauten.

Anlagenteile werden oft aus der Einbaulage entfernt, bevor sie im Anschluss zur besseren Handhabung in kleinere Teile zerlegt werden. Neben verschiedenen Metallsorten ist auch Beton zu trennen, der – wie etwa beim biologischen Schild oder bei einigen Gebäudestrukturen – stark mit Armierungsstahl durchsetzt sein kann.

Wenn in einem Bereich mit starkem Strahlungsfeld oder an kontaminierten/aktivierten Werkstücken gearbeitet werden muss, wie etwa im kernnahen Bereich, kann dies nicht direkt von Personal vor Ort geschehen, sondern muss fernhandelt und oftmals auch unter Wasser durchgeführt werden [Abb. 43](#).

Entscheidend für die Auswahl des Verfahrens sind in erster Linie Sicherheitsaspekte. Nachrangig können aber auch weitere Faktoren relevant sein, wie z. B. Schneidgeschwindigkeit, maximal trennbare Materialdicke oder die Freisetzung von Stäuben (Aerosolen). Aufgrund des breiten Anforderungsspektrums existiert kein universell gleichermaßen gut geeignetes Trennverfahren, sodass sich in der Praxis eine Vielzahl an technischen Verfahren etabliert hat, die sich grundsätzlich in thermische und mechanische Trennverfahren gliedern lassen.

Thermische Trennverfahren

Thermische Trennverfahren schmelzen das Material mittels einer Flamme, eines Lichtbogens oder eines Laserstrahls auf und treiben dann den geschmolzenen Anteil durch einen Gas- oder Wasserstrom aus der Schnittfuge. Solche Verfahren werden weitaus häufiger für Metalle als für Beton oder sonstige Baustoffe genutzt.

Beim thermischen Trennen in Luft und unter Wasser entstehen partikelförmige Emissionen, sogenannte Aerosole bzw. Hydrossole.

Durch den Einsatz von handelsüblichen Absaug- und Filteranlagen wird die Verbreitung der emittierten Partikel wirksam verhindert, wodurch gleichzeitig der Schutz des Personals gewährleistet wird. Wichtige thermische Trennverfahren sind z. B. das Brennschneiden oder das Plasmaschmelzschnitten [Abb. 42](#). Diese Verfahren zeichnen sich in der Regel durch hohe Schneidgeschwindigkeiten und geringe Rückstellkräfte aus, sodass sich entsprechende Geräte für den fernbedienten Einsatz mithilfe von Manipulatoren eignen.

Mechanische Trennverfahren

Mechanische Trennverfahren erzeugen eine Schnittfuge, indem mechanisch Material abgetragen wird. Dabei wird das Material weder aufgeschmolzen noch verbrannt, auch werden keine Schneidgase eingesetzt. Dennoch kann dabei Wärme entstehen und eine Kühlung nötig sein. Die beim Trennen entstehenden Späne und Stäube sind vergleichsweise grob und dementsprechend leicht durch Filter aufzufangen.

Mechanische Trennverfahren werden gleichermaßen für Metalle und für Betonstrukturen angewendet. Gängige mechanische Trennverfahren sind u. a. Sägen, Seilschleifen, Fräsen, Trennschleifen, Scheeren und Wasser-Abrasivstrahlschneiden.

Insbesondere für den Abbruch von Kühltürmen und gegebenenfalls für Nebengebäude, bei denen jegliche Kontamination ausgeschlossen werden kann, werden auch das Sprengen oder das sequenzielle Kollabieren eingesetzt [Abb. 44 und 45](#).



FERNHANTIERTE ZERLEGUNG

Um den Strahlenschutz der Beschäftigten zu gewährleisten, ist eine fernhantierte Zerlegung von stark strahlenden Komponenten wie dem Reaktor-druckbehälter unverzichtbar. Der Grad an Automatisierung ist dabei noch gering, häufig werden die Geräte noch über sog. „Master-Slave-Manipulatoren“ von einer Person gesteuert (wie hier von dem inzwischen abgebauten Steuerstand für die Zerlegung des Reaktordruckbehälters im Kernkraftwerk Obrigheim).



6.3 Digitalisierung und Automatisierung in der Stilllegung

Die technologischen Entwicklungen, die in den letzten Jahren durch die Digitalisierung vorangetrieben wurden und sämtliche moderne Industriezweige prägen, beeinflussen auch die Abläufe bei der Stilllegung kerntechnischer Anlagen. Bereits etablierte technische Verfahren können durch die zunehmende Digitalisierung bzw. moderne Technologien einen höheren Automatisierungsgrad erreichen.

Wichtige digitale Innovationen wie die Robotik, die künstliche Intelligenz, das maschinelle Lernen, virtuelle und Augmented Reality (VR/AR), digitalisierte Formen des Projektmanagements sowie die Automatisierung von Prozessen wirken sich zunehmend auf die verschiedenen Bereiche der Stilllegung aus. Zu diesen Bereichen zählen u. a. Logistik, Arbeitsplanung und -durchführung sowie Ausbildung und Training von Mitarbeitenden. Eine besondere Bedeutung erlangt die künstliche Intelligenz prinzipiell im Bereich der Vernetzung gesamter Wertschöpfungsketten.

Der Einsatz von fernhantierten Verfahren sowie Robotern – derzeit meist mit einem geringen Automatisierungsgrad – im Rahmen von Stilllegung und Abbau ist in Umgebungen notwendig, in denen die Ortsdosisleistung einen menschlichen Zutritt nicht zulässt oder längere Aufenthaltszeiten nicht möglich sind. Dies trifft besonders für Anlagen der Ver- und Entsorgung wie Wiederaufarbeitungsanlagen zu, in denen punktuell sehr hohe Ortsdosisleistungen auftreten können. Oftmals werden hierbei Systeme mit einem oder mehreren Roboterarmen genutzt, die eine wechselnde Bestückung, also den Einsatz

44. und 45. Sprengung von Kühltürmen

Im Kernkraftwerk Grafenrheinfeld wurden nach drei Jahren Vorbereitung am 16. August 2024 die beiden Kühltürme der Anlage gesprengt.

Die Sprengung wurde auf vielfachen Wunsch aus der Bevölkerung um zehn Jahre vorgezogen, die freigewordene Fläche soll zur Lagerung von Material aus dem Abbau genutzt werden.

verschiedener Werkzeuge, ermöglichen und durch fahrbare Gestelle im Raum bewegt werden können.

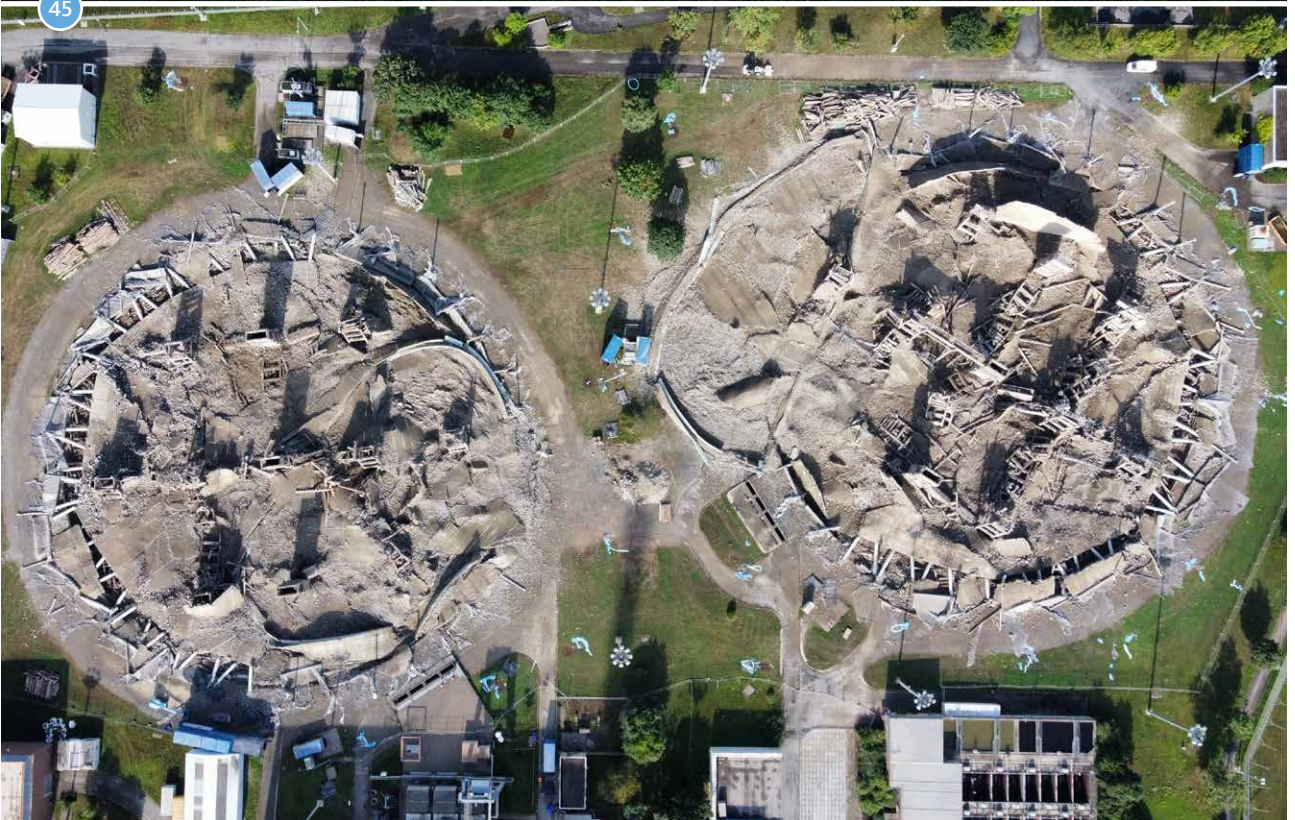
Bei sich wiederholenden Prozeduren, beispielsweise bei der Zerlegung und Verpackung großer Mengen ähnlicher, gegebenenfalls normierter Bauteile, kann der automatisierte Einsatz von Robotern zur Effizienzsteigerung und zu einem Sicherheitsgewinn führen. Vor der Ausführung von anspruchsvollen Abbautätigkeiten können die Operateure mithilfe eines sogenannten „digitalen Zwillings“, der die Stilllegungs- und Abbausituation in einer virtuellen Realität darstellt, trainieren und die gesamte räumliche Planung durchführen, sodass der eigentliche Einsatz effizienter und mit verringerter Exposition des Personals durchgeführt werden kann.

Einige der aktuellen Stilllegungsprojekte nutzen – oftmals allerdings nur für bestimmte Aufgaben und/oder Maßnahmen – Methoden der Bauwerkinformationsmodellierung (Building Information Modelling, BIM), bei der ein digitaler Zwilling von Raumbereichen oder der ganzen Anlage mit geeignetem Detaillierungsgrad erstellt und dieses Abbild mit Datenbankfunktionen verknüpft wird. Da die Erstellung und Pflege eines detaillierten Modells mit einem hohen Aufwand verbunden ist, entscheiden auch wirtschaftliche Faktoren über den genutzten Detaillierungsgrad und Anwendungszweck.

44



45





7

RESTSTOFF- UND ABFALLMANAGEMENT

Beim Abbau entstehen große Mengen an Material – meist konventionell, teils radioaktiv. Mithilfe von Messungen, Sortierung und Behandlung entscheiden Fachleute, was freigegeben, verwertet oder als Abfall endgelagert wird.



46. Zwischenlagerung Im Zwischenlager Nord in Lubmin werden sowohl bestrahlte Brennelemente als auch Großkomponenten wie Dampferzeuger sowie schwach- und mittelradioaktive Abfälle aus der Stilllegung gelagert.

Wird eine kerntechnische Anlage abgebaut, fallen erhebliche Mengen an Reststoffen an. Eine der wichtigsten Aufgaben ist es daher, das Aufkommen an Reststoffen und Abfällen effektiv zu bewältigen. Als Reststoffe bezeichnet man das Material, welches infolge des Abbaus primär anfällt und das anschließend entweder wiederverwendet oder verwertet oder (gegebenenfalls nach Behandlung) entsorgt werden kann. Die weitaus größten Anteile machen dabei Metalle und Beton aus, kleine Anteile entfallen beispielsweise auf Isoliermaterialien, Kunststoffe oder Lacke. Nur ein Bruchteil der Reststoffe muss schlussendlich als radioaktiver Abfall entsorgt werden [Kap. 7.3](#). Der Großteil ist so geringfügig aktiviert oder kontaminiert, dass er nach §§ 31 bis 42 StrlSchV freigegeben wird, d. h. aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen [Kap. 7.2](#), und damit im Sinne von § 31 StrlSchV kein radioaktiver Stoff mehr ist. Nach § 2 des Entsorgungsübergangsgesetzes (EntsorgÜG) sind Stoffe, die freigegeben werden können, auch freizugeben.

Beim Abbau kerntechnischer Anlagen können auch konventionelle Abfälle anfallen, die Gefahrstoffe wie Asbest oder PCB enthalten. Derartige Abfälle müssen nach den zum Zeitpunkt des Abfallanfalls geltenden Vorschriften fachgerecht behandelt und entsorgt werden. Für schwach- und mittelradioaktive Abfälle aus kerntechnischen Anlagen ist die Schachtanlage „Konrad“ als Endlager vorgesehen, die derzeit für den Einlagerungsbetrieb vorbereitet wird. Bis mit der Einlagerung begonnen werden kann, müssen diese Abfälle nach festgelegten Regeln vorbehandelt (konditioniert), verpackt und zwischengelagert werden.

Für die Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle gilt

grundsätzlich das Verursacherprinzip. So haben die durch § 9 Abs. 1 AtG Verpflichteten – das sind unter anderem die Betreiber kerntechnischer Anlagen, in denen mit Kernbrennstoffen umgegangen wird – dafür zu sorgen, dass anfallende radioaktive Reststoffe sowie ausgebaute oder abgebaute radioaktive Anlagenteile schadlos verwertet oder als radioaktive Abfälle geordnet beseitigt werden.

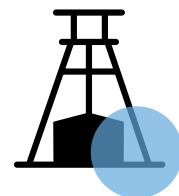
Nach dem Entsorgungsübergangsgesetz können Betreiber von Kernkraftwerken ihre fachgerecht verpackten radioaktiven Abfälle an einen vom Bund mit der Wahrnehmung der Zwischenlagerung beauftragten Dritten abgeben. Der Bund hat die BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH mit der Wahrnehmung dieser Aufgabe betraut. Mit der Abgabe der Abfälle an die BGZ geht die Finanzierungs- und Handlungspflicht der Betreiber zur Entsorgung ihrer radioaktiven Abfälle auf den Bund über. Die Endlagerung ist Sache des Bundes.

Die anfallenden Gesamtmassen an Reststoffen und Abfällen, radioaktive wie nichtradioaktive, der Kernkraftwerke in Deutschland unterscheiden sich nach dem jeweiligen Kraftwerkstyp (Druck- oder Siedewasserreaktor). Die Massen aus dem Kontrollbereich beziffern sich jedoch für die meisten Kernkraftwerke auf jeweils etwa 200.000 Tonnen [Abb. 48](#). Der Großteil der Reststoffe aus dem Kontrollbereich eines Kernkraftwerks (ca. 97 % der Masse) kann freigegeben werden [Kap. 7.2](#), da es sich dabei nicht um radioaktive Stoffe im Sinne des StrlSchG handelt. Diese Reststoffe werden z. B. anschließend auf Deponien entsorgt, in Verbrennungsanlagen verbrannt oder verwertet. Bei entsprechend optimierter Stilllegung sind nur etwa 3 % der Masse aus dem Kontrollbereich als radioaktiver Abfall einzuordnen, der endgelagert werden muss [Abb. 47](#).

3%

RADIOAKTIVER ABFALL

Nur etwa 3 % der Masse des Kontrollbereichs sind, bei einem optimierten Abbau, radioaktiver Abfall und müssen entsprechend endgelagert werden.



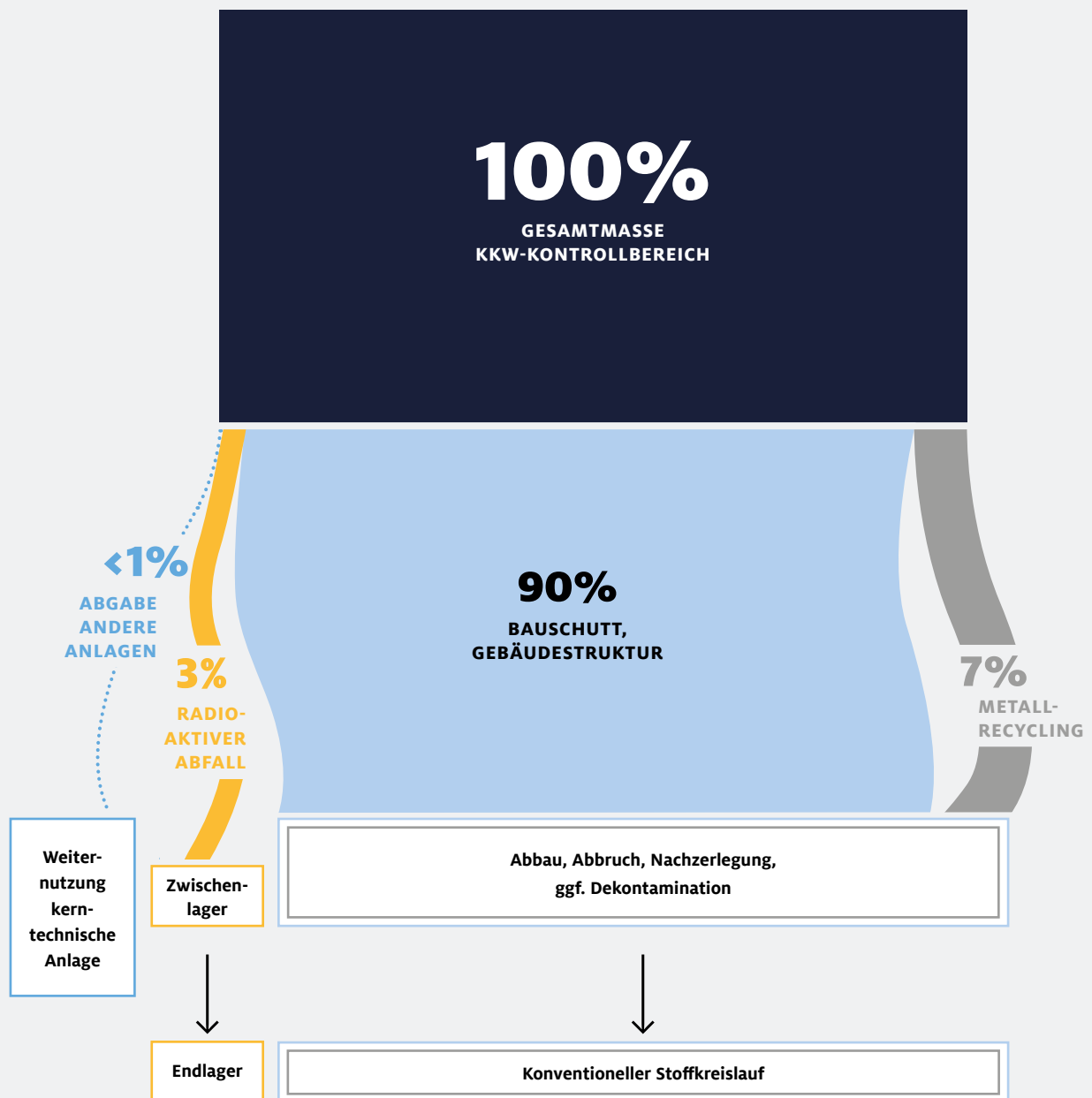
SCHACHTANLAGE KONRAD

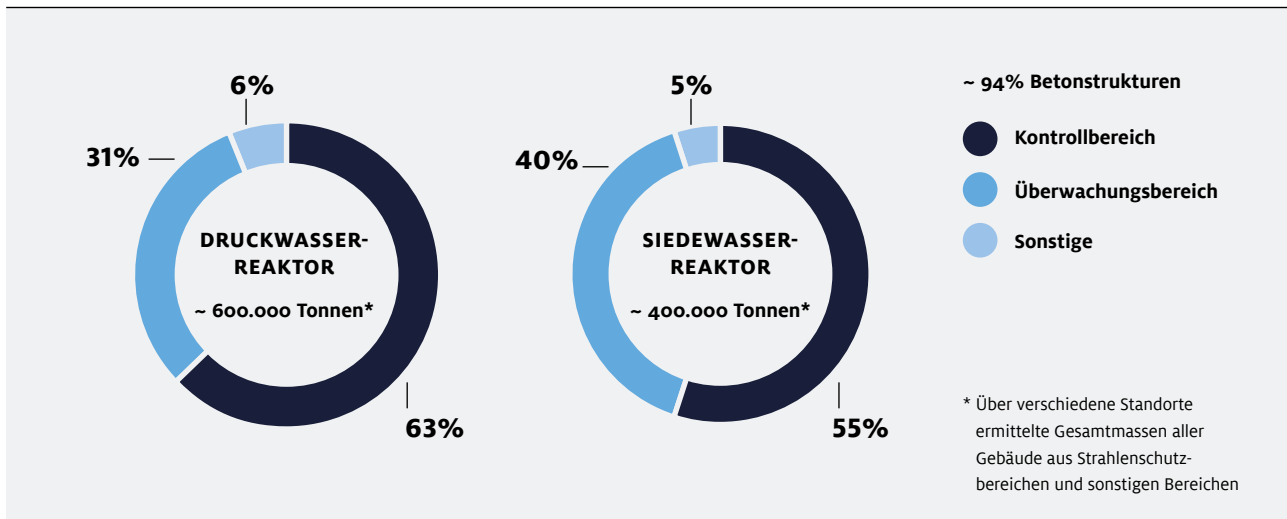
Als Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle aus kerntechnischen Anlagen ist die Schachtanlage Konrad vorgesehen.

47

RESTSTOFFE AUS DEM ABBAU EINES KERNKRAFTWERKS

Der überwiegende Anteil der Reststoffe wird dem konventionellen Stoffkreislauf bzw. der konventionellen Entsorgung zugeführt.



ANTEILE AN DEN GESAMTMASSEN VON KERNKRAFTWERKEN (NACH ESK) MIT DRUCK- UND SIEDEWASSERREAKTOR


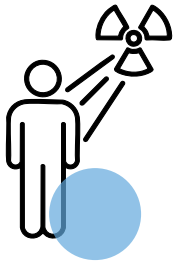
7.1 Strategien im Reststoff- und Abfallmanagement

Die nationale Strategie des Reststoff- und Abfallmanagements sieht vor, dass radioaktive Abfälle nach den Annahmekriterien des Endlagers Schacht Konrad in Betreiberverantwortung konditioniert und verpackt werden. Nach der Zwischenlagerung werden die Gebinde in Verantwortung des Bundes tiefengeologisch endgelagert. Die konventionelle Entsorgung oder Verwertung des Großteils der nichtradioaktiven Reststoffe unterliegt nicht dem Atomrecht. Freigegebener Bauschutt kann etwa für den Straßenbau genutzt oder auf privatrechtlich betriebenen Deponien entsorgt werden, da er kein radioaktiver Stoff im Sinne des Atom- und Strahlenschutzrechts ist.

Ähnlich wie bei der Strategie [Kap. 2](#) und der Vorgehensweise bei der Stilllegung einer kerntechnischen Anlage [Kap. 3](#) bleiben dem Betreiber verschiedene Möglichkeiten, das Reststoff- und Abfallmanagement zu gestalten. Für einen zügigen

und reibungslosen Ablauf der Stilllegung müssen Reststoffe schnell aus den Arbeitsbereichen entfernt werden. Die hierfür benötigten Pufferflächen können sowohl innerhalb als auch außerhalb der Anlage geschaffen werden. Befinden sich mehrere Reaktoren auf einem Anlagengelände, können auch Quertransporte innerhalb der Anlage sinnvoll sein, um z. B. Anlagen für die Konditionierung nicht doppelt vorhalten zu müssen. Auch ein Transport zu einer anderen Anlage ist möglich, wenn dort z. B. Lagerkapazitäten frei oder spezielle Einrichtungen vorhanden sind [Kap. 3.3](#).

Die Entsorgung radioaktiver Abfälle in einem tiefengeologischen Endlager ist ein Kostenfaktor, der durch gezielte Dekontaminations- und Konditionierungsmaßnahmen (Volumenreduktion) reduziert werden kann. Auch die Abklinglagerung über einige Jahrzehnte kann zu einer Reduktion führen.



10- μ Sv-KRITERIUM

Dies besagt, dass durch freigegebene Stoffe eine jährliche Dosis von 10 Mikrosievert für Einzelpersonen in der Bevölkerung nicht überschritten wird.

7.2 Freigabe

Nur ein kleiner Teil des gesamten Materials in einer kerntechnischen Anlage ist mit radioaktiven Stoffen in Berührung gekommen oder aktiviert worden [Kap. 7.1](#). Davon kann wiederum der größte Teil durch Dekontaminationsmaßnahmen von anhaftenden Radionukliden befreit werden.

Durch die Freigabe wird festgestellt und nachgewiesen, dass Stoffe radiologisch unbedenklich sind. Daher sind freigegebene Stoffe keine radioaktiven Stoffe. Ihre spezifische Aktivität ist so gering, dass sie außer Acht gelassen werden kann und die Stoffe daher auch keiner weiteren atom- oder strahlenschutzrechtlichen Regelung bedürfen. Juristisch entspricht das dem „De-Minimis“-Prinzip, wonach nicht „jede Kleinigkeit“ einer Regelung bzw. Überwachung bedarf.

Es entspricht dem Stand der Wissenschaft, dass für eine Einzelperson der Bevölkerung eine Dosis im Bereich von 10 Mikrosievert (μ Sv) pro Jahr vernachlässigbar ist. Zum Vergleich: Die naturbedingte Exposition, die jede Person pro Jahr in Deutschland erfährt, beträgt 2,1 Millisievert (also 2.100 μ Sv). Die StrlSchV legt für verschiedene Stoffe und Freigabeoptionen Aktivitätswerte, sog. Freigabewerte, fest. Werden diese unterschritten, wird das 10-Mikrosievert-Kriterium eingehalten. Der Nachweis, dass die Freigabewerte für den vorliegenden Stoff unterschritten sind, wird über eine Messung der Aktivität erbracht.

Für die Freigabe existieren eine Reihe von Optionen, die durch die Strahlenschutzverordnung vorgegeben sind: Nach einer „uneingeschränkten Freigabe“ kann das Material für beliebige Zwecke wiederverwendet werden.

Bei einer „spezifischen Freigabe zur Beseitigung“ muss das Material an eine geeignete konventionelle Deponie („Freigabe zur Beseitigung auf Deponien“) oder Verbrennungsanlage („Freigabe zur Beseitigung in einer Verbrennungsanlage“) abgegeben und dort beseitigt werden.

Weitere Optionen bestehen z. B. für Metallschrott, welcher zum Einschmelzen an ein Stahlwerk oder in eine Gießerei gelangen soll, für große Mengen an Bau-schutt, für die Gebäude der Anlage sowie für das Anlagengelände.

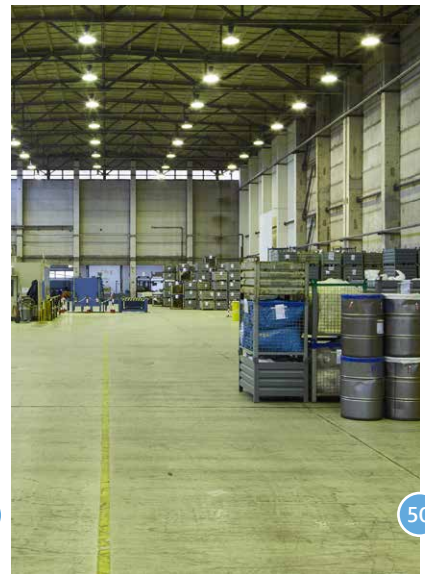
Der Ablauf der Freigabe ist gesetzlich geregelt. Dabei sind an zahlreichen Stellen im Prozess der Freigabe qualitätssichernde Maßnahmen vorgesehen. Die zuständige Behörde prüft, dass die Schritte des Verfahrens und die eingesetzte Messtechnik für das Freigabeverfahren geeignet sind. Dies wird auch durch Sachverständige ständig geprüft. So wird sichergestellt, dass das Material die für die Freigabe geltenden Kriterien erfüllt.

Um die Gebäude einer kerntechnischen Anlage nach der Stilllegung weiter nutzen oder abreißen zu können, müssen auch diese freigegeben werden. Alle Oberflächen werden auf Kontamination hin überprüft [Abb. 53](#). Auch hier genehmigt die zuständige Behörde die Verfahren, die zum Nachweis der Einhaltung der Freigabewerte angewendet werden.

Überschreitet die Aktivität einer Oberfläche die einzuhaltenen Freigabewerte, so folgen ein oder mehrere Dekontaminationsschritte. Ist ein Unterschreiten der Freigabewerte dadurch nicht möglich, ist gegebenenfalls die gesamte Struktur (z. B. eine Wand) als radioaktiver Abfall zu



49



50

49., 50. und 51. Freigabemessung

Nach ihrem Abbau werden Anlagenteile in handhabbare Stücke zerlegt, in Kisten oder Gitterboxen vorsortiert (wie beispielsweise im Kernkraftwerk Krümmel, Bild rechts) und bis zu ihrer Messung auf Pufferflächen gelagert (Bild oben rechts, Kernkraftwerk Greifswald). Die Messung erfolgt in einer Freimessanlage, in die die Kisten über ein Förderband gelangen (Bild oben links, Kernkraftwerk Greifswald). Erst wenn durch die Messung belegt wurde, dass die Freigabewerte unterschritten sind, können die Materialien freigegeben werden.

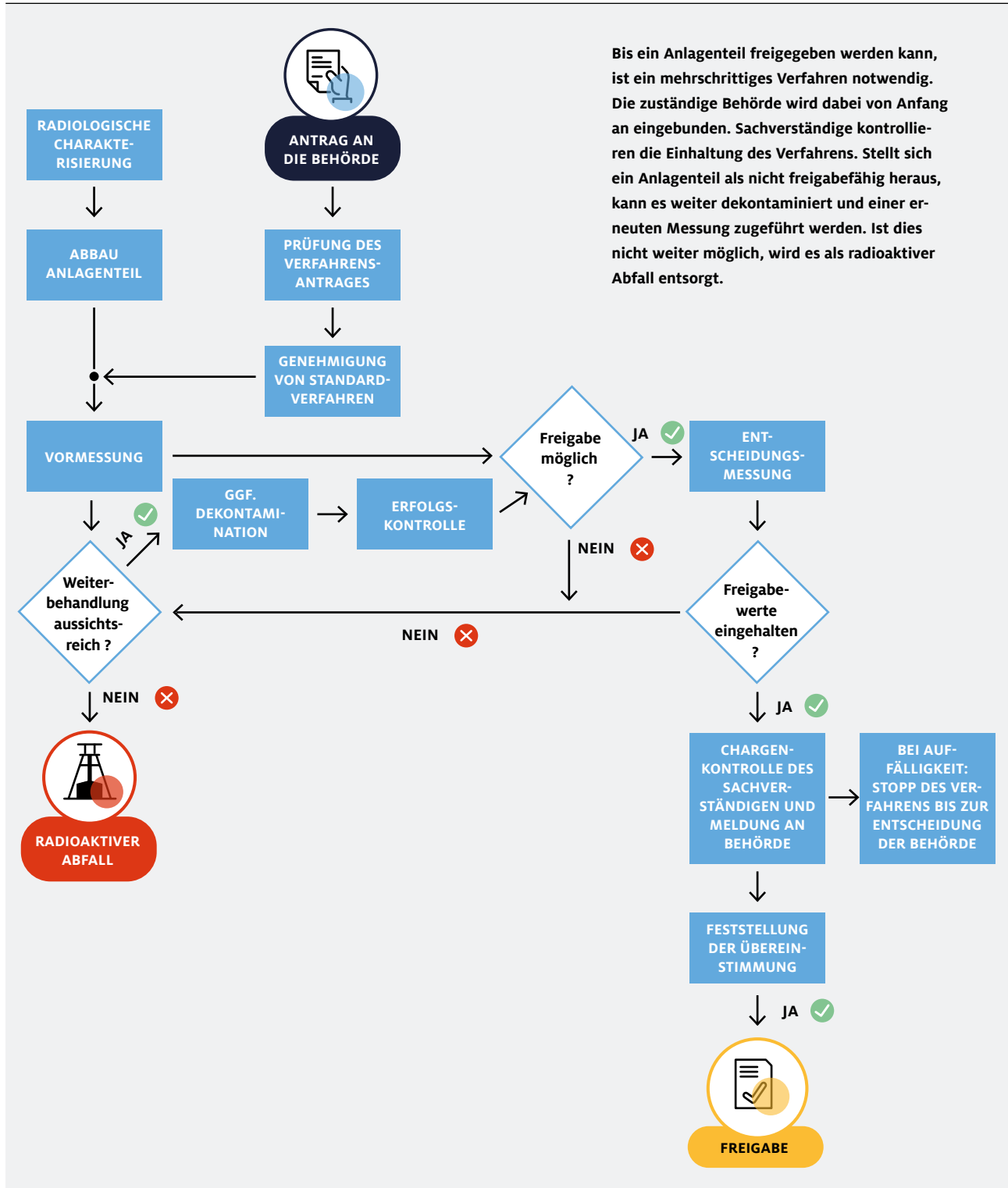


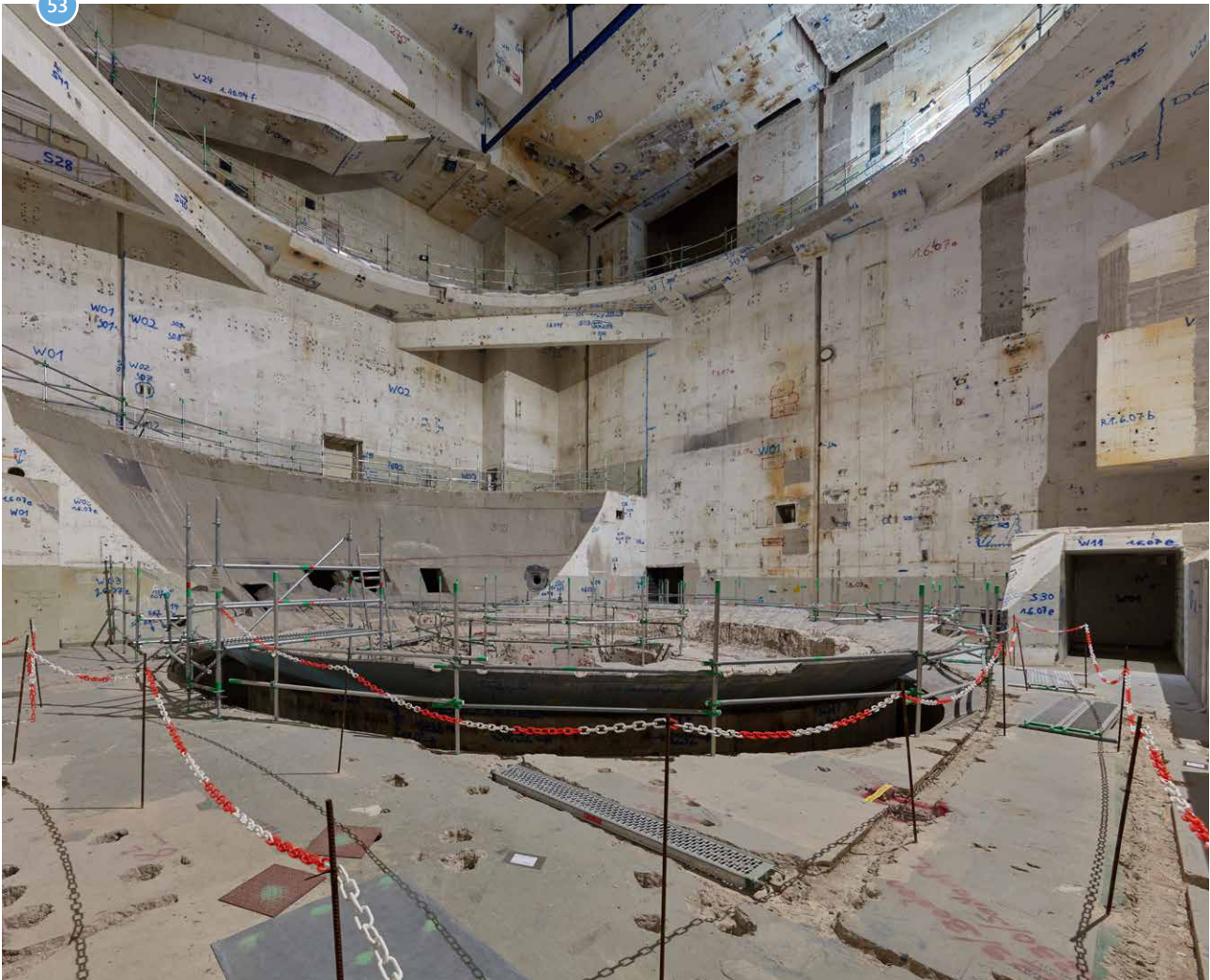
51

53. Oberflächenkontamination

Reaktorgebäude des Kernkraftwerks Würgassen mit Markierungen zur Bestimmung der Oberflächenkontamination im Bodenbereich; sämtliche Einrichtungen und Komponenten sind bereits entfernt.

52

ENTSCHEIDUNGSSCHEMA ZUR FREIGABE VON ANLAGENTEILEN



entsorgen. Sollte die Statik des Gebäudes dadurch nicht mehr gegeben sein, müssen vorübergehend entsprechende Ersatzstrukturen (z. B. Stützen) geschaffen werden.

Auch die Bodenflächen auf dem Außengelände einer kerntechnischen Anlage

werden bei der Stilllegung auf Kontamination hin überprüft und können nur bei Unterschreitung der Freigabewerte freigegeben werden. Andernfalls wäre der kontaminierte Boden auszuheben und als radioaktiver Abfall zu entsorgen. Dies ist jedoch in der Regel nicht erforderlich.



GELÄNDEFREIGABE

Auch die Freiflächen eines Kernkraftwerks müssen freigegeben werden. Für die Messungen, mit denen potenzielle Kontaminationen entdeckt werden sollen, werden beispielsweise fahrbare Detektoren eingesetzt.

7.3 Radioaktiver Abfall

In Deutschland unterscheidet man zwei Kategorien radioaktiver Abfälle: wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. Solche mit Wärmeentwicklung sind zum Großteil bestrahlte Brennelemente und Abfälle aus der Wiederaufarbeitung, die nach einigen Jahren im Abklingbecken in CASTOR-Behältern gelagert und transportiert werden können. Die radioaktiven Abfälle aus der Stilllegung zählen zu den Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung.

Alle Stoffe, die beim Abbau einer kerntechnischen Anlage anfallen und nicht freigegeben werden können, sind radioaktiver Abfall. Bezogen auf die Gesamtmasse des Kontrollbereichs einer Anlage liegt das Massenaufkommen des radioaktiven Abfalls aus dem Abbau im Bereich weniger Prozent (für KKW [Abb. 47](#)). Die dominanten Nuklide bei Abfällen aus Kernreaktoren sind vergleichsweise kurzlebige Beta-/Gamma-Strahler wie Kobalt-60 (^{60}Co) und Cäsium-137 (^{137}Cs). Bei Anlagen der Ver- und Entsorgung, insbesondere bei Wieder-



54



55

54. Endlager Konrad Für die Entsorgung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle – dies sind zum größten Teil solche aus der Stilllegung – ist das Endlager Konrad nahe dem niedersächsischen Salzgitter vorgesehen. Dort soll ab Anfang der 2030er Jahre die Einlagerung beginnen.

55. Hochradioaktive Abfälle Den allergrößten Teil der hochradioaktiven Abfälle in Deutschland machen bestrahlte Brennelemente aus. Derzeit wird noch nach einem Endlagerstandort für derartige Abfälle gesucht. Bis ein solches Endlager in Betrieb geht, müssen entsprechende Abfälle in Zwischenlagern wie dem in Brunsbüttel aufbewahrt werden.

aufarbeitungsanlagen, kommen langlebige Radionuklide sowie Alpha-Strahler und radiotoxische Stoffe hinzu.

Im Allgemeinen stammt der größte Anteil der radioaktiven Abfälle aus der Stilllegung von Kernkraftwerken und Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung. Deutlich geringere Mengen können bei der Stilllegung und dem Abbau von Forschungsreaktoren und sonstigen kerntechnischen Forschungseinrichtungen anfallen. Dies hängt vor allem mit der Größe dieser Anlagen zusammen, stellt aber keine feste Regel dar.

Bis Ende Juni 2005 wurden bestrahlte Brennelemente zur Wiederaufarbeitung nach Frankreich und in das Vereinigte Königreich transportiert. Seitdem ist die Abgabe von bestrahlten Brennelementen aus der gewerblichen Elektrizitätserzeugung in die Wiederaufarbeitung gemäß § 9a Abs. 1 AtG verboten und es ist nur noch die direkte Endlagerung der in Deutschland befindlichen bestrahlten Brennelemente als radioaktive Abfälle zulässig.

Bis in Deutschland geeignete Endlager – eines für Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung sowie ein weiteres für wärmeentwickelnde Abfälle – zur Verfügung stehen, werden die Abfälle vorübergehend in standortnahen sowie in zentralen Zwischenlagern zwischengelagert und entsprechend den Anforderungen an die Zwischen- und Endlagerung konditioniert und sicher verpackt. Insbesondere bei den jüngeren Stilllegungsprojekten wurden daher auf dem Gelände der Kernkraftwerke jeweils zwei separate Zwischenlager errichtet.

Während das Endlager Schacht Konrad für die Annahme von schwach- und mittlradioaktiven Abfällen aus kern-

technischen Anlagen vorgesehen ist, ist die Suche nach einem Standort für ein Endlager zur Aufnahme hochradioaktiver Abfälle (hauptsächlich bestrahlte Brennelemente und verglaste radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung) noch nicht abgeschlossen.

In der Regel existieren an den Kraftwerksstandorten inzwischen hinreichend Lagerkapazitäten, sodass der Abbau und die Abfallkonditionierung auch dann fortgesetzt werden kann, wenn noch kein Endlager zur Annahme der Abfälle zur Verfügung steht.

Die abschließende Freigabe des gesamten Anlagengeländes wird also nicht allein vom vollständigen Abbau der Anlage bestimmt, sondern auch davon, wann die Abfälle aus den Zwischenlagern in die jeweiligen Endlager überführt werden können. Mittlerweile sind die standortnahen Zwischenlager in der Regel in den Besitz der BGZ übergegangen und nicht mehr Teil des Anlagengeländes des jeweiligen Kernkraftwerks. So kann dieses nach dem vollständigen Abbau auch dann schon aus der atomrechtlichen Überwachung entlassen werden, wenn das Zwischenlager noch besteht.



ENDLAGERUNG

International existieren unterschiedliche Ansätze zur Entsorgung radioaktiver Abfälle, wie z. B. die tiefengeologische Lagerung, die Lagerung in Bohrlöchern oder die Langzeitlagerung in oberirdischen Einrichtungen. In Deutschland wurde entschieden, radioaktive Abfälle in tiefengeologischen Endlagern zu entsorgen. Dies entspricht dem weitgehend international herrschenden wissenschaftlichen Konsens darüber, dass eine endgültige Entsorgung hochradioaktiver Abfälle am sichersten in tiefen geologischen Formationen umgesetzt werden kann.



8

KOSTEN UND FINANZIERUNG

*Stilllegung und Entsorgung kosten Milliarden.
Betreiber kommerzieller Anlagen zahlen über
Rückstellungen und Fonds, bei öffentlichen Anlagen
übernehmen Bund und Länder.*



56. Finanzierung Die Stilllegung von Forschungsreaktoren wird von der öffentlichen Hand finanziert, in der Regel überwiegend durch den Bund. In einigen Fällen – wie dem hier gezeigten Forschungsreaktor FRM II der TU München – übernimmt aber auch das jeweilige Bundesland die Finanzierung alleine.

Hinter der Pflicht der Betreiber, anfallende radioaktive Reststoffe schadlos zu verwerten oder als radioaktive Abfälle geordnet zu beseitigen, steht der Grundsatz, dass die Kosten der Stilllegung und Entsorgung letztlich von den Verursachern zu tragen sind.

Die Art und Weise der Sicherstellung der Verfügbarkeit von Finanzmitteln für die Stilllegung kerntechnischer Anlagen ist bei Anlagen der öffentlichen Hand und bei Anlagen privater Energieversorgungsunternehmen (EVU) unterschiedlich geregelt. Für die kommerziell betriebenen Kernkraftwerke sind dies deren Betreiber bzw. die dahinterstehenden privaten EVU. Für die Anlagen der Ver- und Entsorgung sind dies die jeweiligen Betreibergesellschaften. Für kerntechnische Anlagen in der Forschung (Forschungsreaktoren, Einrich-

tungen in den Forschungszentren, an Universitäten usw.), für Prototypeaktoren sowie für die sich in der Stilllegung befindlichen Kernkraftwerke der ehemaligen DDR in Greifswald und Rheinsberg gilt die öffentliche Hand als Verursacherin.

International existieren unterschiedliche Modelle zur Sicherstellung der Finanzierung. In Frankreich müssen die Betreiber zweckgebundene Fonds bilden, die unter staatlicher Aufsicht stehen. In den USA gibt es ein treuhänderisch verwaltetes System von „Nuclear Decommissioning Trust Funds“. In Großbritannien gibt es schließlich mit der Nuclear Decommissioning Authority (NDA) ein zentralisiertes Modell, bei dem der Staat die Finanzierung über Haushaltsmittel sicherstellt, insbesondere für Altlasten.

8.1 Finanzierung für kommerziell betriebene Kernkraftwerke

Die Handlungs- und Finanzierungsverantwortung für Stilllegung, Abbau sowie die fachgerechte Verpackung radioaktiver Abfälle liegt – anders als bei den Kosten für die Entsorgung dieser Abfälle – unmittelbar bei den EVU. Während der Betriebszeit ihrer Anlagen sind die Betreiber verpflichtet, Rückstellungen für deren Stilllegung zu bilden. Grundlage dieser Rückstellungsbildung nach Handelsrecht war die aus dem AtG abgeleitete öffentlich-rechtliche Entsorgungsverpflichtung.

Die Stilllegungsrückstellungen der Kernkraftwerke dienen dem Ziel, die finanzielle Deckung der Stilllegung der Kernkraftwerke sicherzustellen, wenn nach der endgültigen Einstellung der Stromproduktion keine Erträge aus dem Stromgeschäft mehr entstehen. Der Um-

fang der Rückstellungen umfasst sämtliche Kosten, die mit dem Abbau der Kraftwerksanlage in Verbindung stehen. Dazu zählen insbesondere die Kosten der Nachbetriebsphase, der Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren, des eigentlichen Abbaus sowie der Reststoffbearbeitung und Verpackung der radioaktiven Abfälle.

In analoger Weise gelten die obigen Ausführungen für die kommerziellen Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung. Allerdings werden diese Anlagen nicht von den Neuregelungen des Gesetzes zur Neuordnung der Verantwortung in der kerntechnischen Entsorgung erfasst. Das bedeutet, dass die hierfür zu bildenden Rückstellungen auch weiterhin die Zwischen- und Endlagerung der Abfälle umfassen müssen.

19,3

MRD. EURO

betragen die aktuellen Rückstellungen für die Stilllegung der deutschen Kernkraftwerke Ende 2024 gemäß der „Unterrichtung im Bericht nach § 7 des Transparenzgesetzes – Rückbau von Kernkraftwerken“.

Die Höhe der notwendigen Rückstellungen für die Stilllegung der Kernkraftwerke wird jährlich durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) berechnet, und die Betreiber sind verpflichtet, ihre Rückstellungen erforderlichenfalls aufzustocken. Informationen zu den Rückstellungen werden von den EVU jährlich an das BAFA übermittelt. Gemäß der „Unterrichtung im Bericht nach § 7 des Transparenzgesetzes – Rückbau von Kernkraftwerken“ beliefen sich die aktuellen Rückstellungen für die Stilllegung der deutschen Kernkraftwerke Ende 2024 auf rund 19,3 Mrd. €.

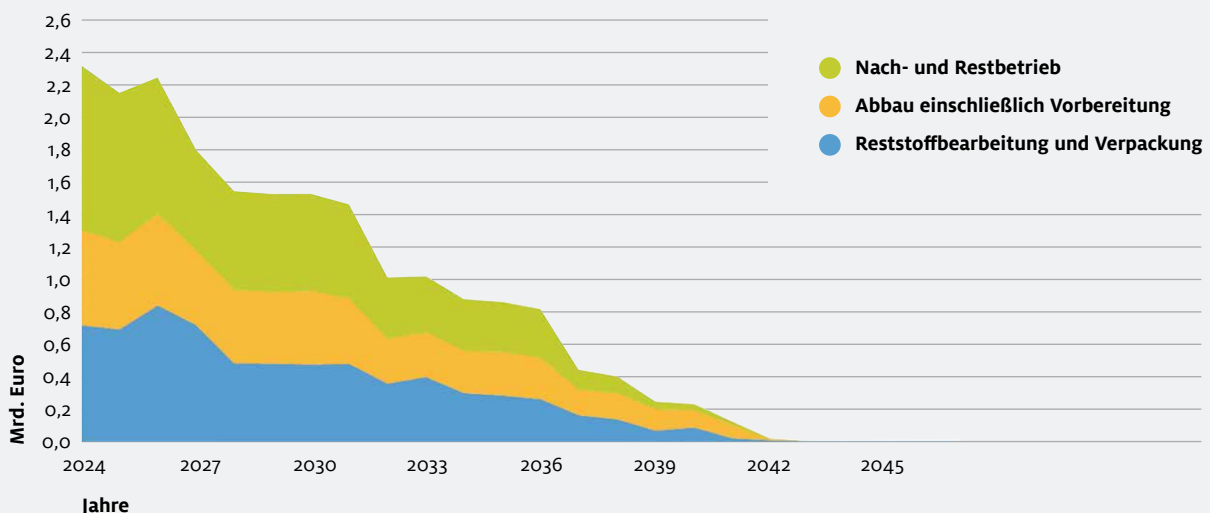
Im Rahmen der Stilllegung stellen Nach- und Restbetrieb die größte Kostenkategorie dar, noch vor der Reststoffbearbeitung und der Verpackung der radioaktiven Abfälle. Die eigentlichen Abbauarbeiten verursachen hingegen den geringsten Kostenanteil. Der Verbrauch der Rückstellungen verteilt sich voraussichtlich bis ins Jahr 2047, wobei der Schwerpunkt

der Ausgaben in den nächsten Jahren anfallen wird, wenn auch die jährlichen Beträge sukzessive abnehmen werden. Für das Jahr 2025 waren nach damaligen Planungen Ausgaben für Stilllegungsverpflichtungen in Höhe von rund 2,2 Mrd. € vorgesehen, für 2026 etwa 2,3 Mrd. €. Ab 2027 werden kontinuierlich sinkende Ausgaben erwartet, mit einem durchschnittlichen Jahresvolumen von etwa 1,6 Mrd. € bis 2029. Mit fortschreitendem Abbau der Anlagen ist ab dem Jahr 2031 ein deutlicher Rückgang der Ausgaben geplant, sodass diese aus heutiger Sicht ab dem Jahr 2034 dauerhaft unter 1 Mrd. € pro Jahr liegen dürften.

Ein Blick auf internationale Erfahrungswerte unterstreicht diese Dimensionen. Laut Schätzungen der IAEA liegen die Kosten für die Stilllegung eines Kernkraftwerks in der Regel zwischen 500 Mio. und 2 Mrd. EUR. Für große Anlagen, wie beispielsweise Wiederaufarbeitungsanlagen, werden sogar bis zu 4 Milliarden Euro veranschlagt.

57

AUSGABEN NACH AUFGABEN 2024 BIS 2047



Quelle: „Unterrichtung im Bericht nach § 7 des Transparenzgesetzes – Rückbau von Kernkraftwerken“

8.2 Finanzierung aus Mitteln der öffentlichen Hand

Die Finanzierung der Stilllegung und der Entsorgung kerntechnischer Anlagen und Einrichtungen der öffentlichen Hand erfolgt aus den laufenden öffentlichen Haushaltsmitteln. Bei den meisten Projekten übernimmt der Bund die wesentlichen Kosten. Die Finanzierung umfasst alle Aufwendungen für den Restbetrieb, die Entsorgung der Brennelemente, die Durchführung der Genehmigungsverfahren, den Abbau von Anlagenteilen sowie die Endlagerung der radioaktiven Abfälle.

Laut dem „Bericht über Kosten und Finanzierung der Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle“

aus dem Jahr 2015² liegt der Bundesanteil bei etwa 90 % und der jeweilige Landesanteil bei 10 % der Kosten. Ausnahmen sind die Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor GmbH (AVR), bei der der Bundesanteil 70 % beträgt, während die Technische Universität München (TUM) und der VKTA-Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e. V. (VKTA) vollständig aus den jeweiligen Landeshaushalten finanziert werden. Die Standorte Lubmin und Rheinsberg der Energiewerke Nord GmbH werden gemäß Einigungsvertrag zu 100 % aus dem Bundeshaushalt finanziert, das Joint Research Centre Karlsruhe (JRC) hingegen vollständig aus EU-Mitteln.

8.3 Finanzierung der Entsorgung

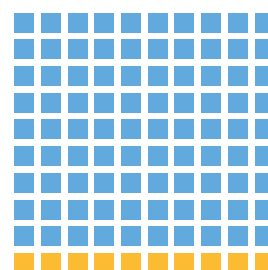
Auch bei der Finanzierung der Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle gilt grundsätzlich das Verursacherprinzip. Die Verantwortung für die kerntechnische Entsorgung wird durch das Entsorgungsübergangsgesetz (EntsorgÜG) geregelt. Entsprechend dem EntsorgÜG ist der Bund für die Zwischen- und Endlagerung der bestrahlten Brennelemente und der radioaktiven Abfälle aus dem Bereich der Kernkraftwerke zuständig.

Im Jahr 2017 wurde mit dem „Gesetz zur Errichtung eines Fonds zur Finanzierung der kerntechnischen Entsorgung“ (Entsorgungsfondsgesetz – EntsorgFondsG) die Errichtung der Stiftung öffentlichen Rechts „Fonds zur Finanzierung der kerntechnischen Entsorgung“ (KENFO) beschlossen. Die Stiftung soll die Finanzierung der Kosten für die sichere Entsorgung der bereits entstandenen und zukünftig

noch entstehenden radioaktiven Abfälle aus der gewerblichen Nutzung der Kernenergie sicherstellen. Dies umfasst insbesondere die Kosten für die Zwischen- und Endlagerung der Abfälle, nicht jedoch die Aufwendungen für die Stilllegung kerntechnischer Anlagen. Der Fonds unterliegt der Rechtsaufsicht des Bundeswirtschaftsministeriums, das diese im Einvernehmen mit dem Bundesumwelt- und dem Bundesfinanzministerium ausübt.

Die Betreiber der Kernkraftwerke haben gemäß § 7 Abs. 2 EntsorgFondsG im Juli 2017 den Grundbetrag von rund 17,9 Mrd. Euro an den KENFO überwiesen. Gegen die Zahlung eines Risikoaufschlags von weiteren rund 6,2 Mrd. Euro konnten sie zudem die Haftung für Zins- und Kostenrisiken endgültig auf den Staat übertragen. Davon haben alle Betreiber Gebrauch gemacht.

90%
BUNDESANTEIL



10%
LANDESANTEIL

Der größte Teil der Stilllegungsprojekte kerntechnischer Anlagen und Einrichtungen im Bereich der öffentlichen Hand – das sind vor allem Forschungsreaktoren – wird überwiegend vom Bund finanziert.

² Bundesumweltministerium – Bericht über Kosten und Finanzierung der Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle

9

INTERNATIONALES

*Stilllegung ist auch international ein Thema:
Organisationen wie IAEA, OECD/NEA, Euratom und WENRA fördern
Standards, Erfahrungsaustausch und Peer-Reviews;
Deutschland bringt sich aktiv in Gremien und Netzwerke ein.*



58. Internationale Standards

Wie für den Betrieb von kerntechnischen Anlagen formulieren internationale Organisationen wie die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEA) auch für die Stilllegung Sicherheitsstandards, die von den Mitgliedsstaaten bei der Entwicklung nationaler Regeln berücksichtigt werden.

Neben dem nationalen Gesetzes- und Regelwerk sind Vorschriften und Empfehlungen auf EU- bzw. Euratom-Ebene zu beachten, die sich im nationalen Regelwerk widerspiegeln. Des Weiteren existieren diverse Empfehlungen und Veröffentlichungen internationaler Gremien, wie z. B. der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEA, engl. International Atomic Energy Agency, IAEA), der Kernenergieagentur (Nuclear Energy Agency, NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (engl. Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD) und der Internationalen

Strahlenschutzkommission (engl. International Commission on Radiological Protection, ICRP), die in der Regel keine unmittelbare bindende Rechtswirkung in Deutschland entfalten. Darüber hinaus hat sich die Bundesrepublik Deutschland verpflichtet, die Verpflichtungen aus dem „Gemeinsamen Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle“ (engl. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management³ – hier kurz: Joint Convention) zu erfüllen.

9.1 Übereinkommen zur nuklearen Entsorgung

Die Joint Convention wurde im Jahr 1997 verabschiedet. Mittlerweile haben 90 Mitgliedsländer der IAEA das Übereinkommen unterzeichnet. Deutschland ist seit dem 18. Juni 2001 Vertragspartei, die Europäische Atomgemeinschaft (Euratom) als supranationale Organisation seit dem 2. Januar 2006. Sie ist das einzige Rechtsinstrument, welches die Sicherheit der Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle auf internationaler Ebene behandelt. Dies geschieht durch die Festlegung grundlegender Sicherheitsprinzipien, einer Berichtspflicht und eines Peer-Review-Prozesses.

Das Übereinkommen erstreckt sich auch auf die Stilllegung, den sicheren Einschluss und den Abbau von kerntechnischen Anlagen. Mit der Unterzeichnung des Übereinkommens verpflichten sich die Vertragsstaaten, alle drei Jahre einen umfangreichen „Nationalen Bericht“ zu verfassen. In der Regel finden alle drei Jahre Konferenzen der Vertragsstaaten statt. Im Rahmen dieser Konferenzen wird gegenseitig überprüft, inwieweit die einzelnen Mitglieder die Zielsetzung des Gemeinsamen Übereinkommens erfüllen. Hierfür sind bereits Monate vor der Konferenz vorbereitende Arbeiten aller Mitglieder erforderlich.

9.2 IAEA

Die IAEA unterstützt ihre Mitgliedsstaaten bei der Planung und Umsetzung der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen und anderen Einrichtungen, die radioaktive Stoffe verwenden. Dies geschieht u. a. gemäß den IAEA-Sicherheitsstandards „IAEA Safety Standard Series“, die Richtlinien und Sicherheitsanforderungen für den

Stilllegungsprozess von kerntechnischen Anlagen sowie die Entsorgung von bestrahlten Brennelementen und radioaktiven Abfällen beschreiben.

Die IAEA fördert außerdem den Austausch von Wissen, bewährten Verfahren und technischen Informationen zur



https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB2023_web.pdf 

³ INFCIRC/546 – Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management

Stilllegung zwischen den Mitgliedsstaaten. Dazu veröffentlicht sie Berichte zu technischen und sicherheitsrelevanten Aspekten („Global Status of Decommissioning of Nuclear Installations“), organisiert Expertentreffen und Workshops. Diese Aktivitäten werden durch webbasierte Ressourcen wie dem Power Reactor Information System (PRIS), der Research Reactor Database (RRDB) und dem Integrated Nuclear Fuel Cycle Information System (INFCIS) unterstützt, die Informationen zu den kerntechnischen Einrichtungen sowie zu Beständen an bestrahlten Brennelementen und radioaktiven Abfällen bereitstellen.

Darüber hinaus bietet das Internationale Stilllegungsnetzwerk (IDN) der IAEA ein Forum für Interaktion und Zusammenarbeit zwischen Fachleuten, die an Stilllegungs- und Abbauprojekten beteiligt sind. Der Austausch von Erfahrungen und Wissen aus Stilllegungs- und Abbauprojekten wird durch eine Wiki-basierte Informationsquelle des IDN erleichtert.

Ein weiterer Service für die Mitgliedsstaaten sind Peer-Reviews und Beratungsdienste, wie z. B. der IRRS (Integrated Regulatory Review Service) oder ARTEMIS (Integrated Review Service for Radioactive Waste and Spent Fuel Management, Decommissioning and Remediation). Diese Programme unterstützen die Mitgliedsstaaten bei der Verbesserung und Weiterentwicklung der nuklearen Sicherheit. Kernelemente solcher Missionen sind die Selbstbewertung des nationalen Gesetzes-, Vollzugs- und Organisationsrahmens der nuklearen Sicherheit sowie der Stilllegungs- und nationalen Entsorgungsprogramme durch den Mitgliedsstaat im Kontext der Empfehlungen der IAEA im Vorfeld der Mission und die anschließende Überprüfung durch ein internationales Expertenteam im Sinne eines Peer-Reviews während der Mission.

In Deutschland wurden bereits beide Arten von Missionen durchgeführt, einschließlich Follow-up-Missionen, um die Umsetzung von Empfehlungen zu bewerten, die zuvor am Ende der Missionen ausgesprochen wurden.

34

LÄNDER

aus Europa, Nordamerika und dem asiatisch-pazifischen Raum sind mit Stand Mitte 2025 Mitglied der Nuclear Energy Agency (NEA). Sie ist eine zwischenstaatliche Institution innerhalb der internationalen Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (engl. OECD).

9.3 OECD/NEA

Die NEA hat als Teil der OECD das Ziel, die friedliche, sichere, umweltschonende und wirtschaftliche Nutzung der Kernenergie zu fördern.

Innerhalb der NEA gibt es acht Fachkomitees, darunter das „Committee on Decommissioning of Nuclear Installations and Legacy Management (CDLM)“. Dieses Komitee widmet sich der internationalen Zusammenarbeit und dem Erfahrungsaustausch zur Entwicklung der wissenschaftlichen, technologischen und rechtlichen Grundlagen für die sichere und wirtschaftliche Stilllegung und den Abbau kerntechnischer

Anlagen, einschließlich des Umgangs mit deren Hinterlassenschaften. Zur Unterstützung des CDLM und zur Fokussierung der Arbeit wurden seit dem Jahr 2021 mehrere Arbeitsgruppen eingerichtet, beispielsweise die „Working Party on Management and Organisational Aspects of Decommissioning and Legacy Management (WPMO)“ und die „Working Party on Technical, Environmental and Safety Aspects of Decommissioning and Legacy Management (WPTES)“. Diese Arbeitsgruppen tragen dazu bei, die Ziele des CDLM zu erreichen und die Zusammenarbeit in diesem Bereich zu stärken.

⁴ https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB2023_web.pdf

Zusätzlich fokussiert sich die Arbeitsgruppe „Working Party on Decommissioning and Dismantling (WPDD)“ des „Radioactive Waste Management Committee (RWMC)“ auf die Analyse von Stilllegungspolitik, -strategie und -regulierung. Dabei werden nicht nur politische und

strategische Aspekte betrachtet, sondern auch praktische Umsetzungsfragen berücksichtigt, wie beispielsweise Techniken zur Materialcharakterisierung, Dekontamination und Demontage, sowie Kosten- und Finanzierungsaspekte der Stilllegung kerntechnischer Anlagen.

9.4 Europa

Grundlage für rechtsverbindliche Regelungen zur nuklearen Sicherheit auf europäischer Ebene ist der Vertrag zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft (Euratom). Zur Gewährleistung der Sicherheit und des Umweltschutzes bei der Stilllegung kerntechnischer Anlagen wurden auf der Basis des Euratom-Vertrags verschiedene Richtlinien und Vorschriften erlassen. Zu den bedeutenden Richtlinien gehören die Richtlinie 2009/71/Euratom zur nuklearen Sicherheit, die grundlegende Sicherheitsstandards für den Betrieb und die Stilllegung kerntechnischer Anlagen festlegt, sowie die Richtlinie 2011/70/Euratom zur Entsorgung radioaktiver Abfälle, die die Regelungen für die Rückführung und Behandlung von radioaktivem

Abfall enthält. Ergänzend dazu legt die Richtlinie 2013/59/Euratom grundlegende Sicherheitsstandards für den Schutz vor den Gefahren ionisierender Strahlung fest und berücksichtigt dabei auch die Stilllegung kerntechnischer Anlagen.

Die Richtlinien sollen sicherstellen, dass die Stilllegung innerhalb der EU unter Berücksichtigung von Sicherheits- und Umweltaspekten durchgeführt wird und klare Verantwortlichkeiten festgelegt sind. Zudem fördern sie die Zusammenarbeit und den Informationsaustausch zwischen den Mitgliedsstaaten, um bewährte Verfahren auszutauschen und die Effizienz der Stilllegungs- und Abbaumaßnahmen zu verbessern.

9.5 WENRA

Die Western European Nuclear Regulators Association (WENRA) setzt sich aus Vertreterinnen und Vertretern der obersten atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden der europäischen Länder zusammen. Ihr Ziel ist es, die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen in den Mitgliedsstaaten zu fördern und weiterzuentwickeln. Instrument hierzu ist die Entwicklung eines gemeinsamen Ansatzes für regulatorische Sicherheitsanforderungen (Safety Reference Levels, SRLs) für Betrieb und Stilllegung kern-

technischer Anlagen sowie die Entwicklung eines Netzwerkes zur Förderung des Erfahrungsaustausches und zur Stärkung der Zusammenarbeit. Maßgebliches Gremium der WENRA im Bereich der Stilllegung ist die „Working Group on Waste and Decommissioning (WGWD)“, die unter anderem spezifische Empfehlungskataloge mit sogenannten Sicherheitsreferenzniveaus erstellt und überarbeitet.



EURATOM

Die Europäische Atomgemeinschaft wurde 1957 als eine von ursprünglich drei Europäischen Gemeinschaften gegründet und ist die einzige, die heute noch als eigenständige Organisation neben der Europäischen Union existiert.



WENRA – WGWD

Die WENRA-Mitglieder haben sich zur Umsetzung der durch die „Working Group on Waste and Decommissioning (WGWD)“ erstellten Sicherheitsreferenzniveaus (Safety Reference Levels, SRLs) im nationalen kerntechnischen Regelwerk verpflichtet. Die WGWD evaluiert diese Umsetzung, indem sie entsprechende Nachweise von den Behörden abfragt, mit den Sicherheitsreferenzniveaus vergleicht und die Ergebnisse dieser Evaluierung im Rahmen thematischer Berichte veröffentlicht.



10

STILLEGUNG – GESTERN UND MORGEN

In Deutschland wurden bereits zahlreiche kerntechnische Anlagen erfolgreich stillgelegt. Zukünftig wird es darum gehen, auch die verbleibenden Anlagen sicher und effizient abzubauen. Ein entscheidender Faktor hierbei ist der Kompetenzerhalt.



59. Grüne Wiese Eine Infotafel erinnert am ehemaligen Standort des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN) an das bereits im Jahr 1994 vollständig abgebaute und aus der atomrechtlichen Aufsicht entlassene Kraftwerk.

Die Stilllegung von kerntechnischen Anlagen aller Art erfordert besondere Sorgfalt und benötigt Jahre bis Jahrzehnte. Viele Stilllegungsprojekte stehen noch am Anfang dieses langen Prozesses. Für alle Anlagentypen gelten dabei die hohen Anforderungen des deutschen Regelwerks, allen voran des Atomgesetzes und des Strahlenschutzgesetzes.

Innerhalb des Genehmigungsrahmens obliegt es dem Betreiber der Anlage, sich für Strategien und Varianten bei der Durchführung zu entscheiden. Die jeweiligen Umstände beeinflussen dabei, ob z. B. Komponenten vor Ort zerlegt werden können oder sollen oder in welcher Reihenfolge abgebaut wird und mit welchen technischen Verfahren. Oberste Prämisse ist stets der Schutz von Mensch und Umwelt vor den Gefahren der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung, weshalb dem Strahlenschutz eine große Bedeutung zukommt. Radiologische Risiken gepaart mit Risiken durch konventionelle Schadstoffe entscheiden daher auch in Zukunft mit, welche technischen Verfahren zum Einsatz kommen können und ob fernhantiert gearbeitet werden muss. Sind schließlich alle Komponenten der kerntechnischen Anlage zerlegt und die Gebäude von Kontamination befreit, verbleibt ein kleiner Teil als radioaktiver Abfall, der in Zukunft in Endlagern zu entsorgen ist.

Die Betreiber der großen Kernkraftwerke haben für alle Vorgänge rund um die Stilllegung sowie (bis 2017) für die Entsorgung Rückstellungen gebildet und kommen so für die entstehenden Kosten auf. Die öffentliche Hand trägt dagegen die Kosten bei Anlagen im öffentlichen Besitz, wie Forschungsreaktoren, Prototypreaktoren und die Kernkraftwerke der ehemaligen DDR.

Deutschland hat sich zu der Einhaltung internationaler Standards verpflichtet und wird sich weiterhin in internationalen Gremien und Expertengruppen für die kerntechnische Sicherheit engagieren. Mit der Erfahrung von über 45 Jahren auf dem Gebiet der Stilllegung ist Deutschland hier eine der führenden Nationen.

Seit Mitte April 2023 sind alle Kernkraftwerke in Deutschland abgeschaltet und befinden sich sämtlich in Stilllegung. Wie die Tabelle im Anhang [Liste zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen in Deutschland](#) zeigt, sind gerade in den letzten Jahren viele Kernkraftwerke und Forschungsreaktoren in die Stilllegung überführt worden. Auf der anderen Seite nähern sich ältere Stilllegungsprojekte bereits ihrem Ende oder sind abgeschlossen worden.

Ein Vergleich von älteren und jüngeren Projekten zeigt, dass bei Stilllegung und Abbau von kerntechnischen Anlagen Fortschritte gemacht und Herangehensweisen optimiert wurden: Durch den technischen Fortschritt erfolgen Stilllegungstätigkeiten vermehrt fernhantiert und unter verbesserten radiologischen Bedingungen. Die mit der Stilllegung betrauten Fachunternehmen profitieren von bisherigen Erfahrungen und können diese in weiteren Projekten nutzen.

Dies gilt heute umso mehr, da standardisierte Kraftwerksbaureihen stillgelegt werden, die in Deutschland mehrfach gebaut wurden. Immer wichtiger wird mit der sukzessiven Stilllegung und dem Abbau der kerntechnischen Anlagen der Erhalt von Kompetenz und Fachkunde in Deutschland. Diese sollen auch in Zukunft durch internationalen Erfahrungsaustausch und gemeinsame Forschungsprojekte sichergestellt werden.

45

JAHRE ERFAHRUNG

Mit der Erfahrung von über 45 Jahren auf dem Gebiet der Stilllegung ist Deutschland eine der führenden Nationen auf diesem Gebiet.

ANHANG

Im ersten Teil des Anhangs befindet sich eine Liste der kerntechnischen Anlagen in Deutschland mit ihren charakteristischen Daten wie Anlagentyp, Inbetriebnahmedatum sowie den Daten für das Ende des Leistungsbetriebs und Erteilung der ersten Stilllegungs- und Abbaugenehmigung. Im zweiten Teil werden einige ausgewählte Stilllegungsprojekte herausgegriffen und kurz beschrieben.

Viele der gelisteten kerntechnischen Anlagen haben zwischen den 1980er und 2000er Jahren ihren Leistungsbetrieb endgültig eingestellt und gingen in die Stilllegung. Am 30. Juni 2011 beschloss der Deutsche Bundestag den beschleunigten Ausstieg aus der friedlichen Nutzung der Kernenergie zur Erzeugung von Elektrizität. Im Zuge dieser Entscheidung haben alle deutschen Kernkraftwerke, die bis zum Jahr 1980 ihren Betrieb aufgenommen hatten, sofort endgültig ihren Leistungsbetrieb eingestellt. Das betraf die Kernkraftwerke Biblis A und B, Isar 1, Neckarwestheim 1, Unterweser und Philippsburg 1. Die Kernkraftwerke Krümmel und Brunsbüttel befanden sich zu diesem Zeitpunkt nicht im Leistungsbetrieb und haben diesen nicht mehr wieder aufgenommen.

In den Folgejahren wurden weitere KKW sukzessive endgültig abgeschaltet: Der Leistungsbetrieb der Anlage Grafen-

rheinfeld endete am 27. Juni 2015, am 31. Dezember 2017 folgte Gundremmingen B und Philippsburg 2 am 31. Dezember 2019. Am 31. Dezember 2021 wurden die Reaktoren Grohnde, Gundremmingen C und Brokdorf abgeschaltet. Die Abschaltung der Kernkraftwerke Isar 2, Emsland und Neckarwestheim 2 war ursprünglich für den 31. Dezember 2022 vorgesehen. Mit der 19. Novelle des AtG sollten die Rahmenbedingungen für den befristeten Weiterbetrieb (Streckbetrieb) der Kernkraftwerke Emsland, Isar 2 und Neckarwestheim 2 geschaffen werden, um „Erzeugungskapazitäten im deutschen Stromnetz zu halten und einen positiven Beitrag zur Energieversorgungssicherheit insgesamt, zur Leistungsbilanz und zur Netzsicherheit zu leisten“⁵, womit für diese Kraftwerke zeitlich begrenzt bis zum 15. April 2023 die Erlaubnis zum Leistungsbetrieb verlängert wurde. Mit diesem Datum verloren die drei letzten verbliebenen Anlagen endgültig ihre Erlaubnis zum Leistungsbetrieb und wurden endgültig abgeschaltet. Damit endete die Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung in Deutschland. Im Jahr 2024 waren in Deutschland noch sechs Forschungsreaktoren und drei Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung in Betrieb. Insgesamt wurden bis zu diesem Jahr 31 Forschungsreaktoren und neun Anlagen der Ver- und Entsorgung aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen.

⁵ <https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-919162>

Liste zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen in Deutschland

KERNKRAFTWERKE (LEISTUNGS- UND PROTOTYPREAKTOREN)

Bezeichnung	Leistung	Reaktortyp	Beginn des Leistungsbe- triebs	Ende des Leis- tungsbetriebs/ Dauerhafte Außerbetrieb- nahme	Erteilung der ersten Stilllegungs- und Abbau- genehmigung
Arbeitsgemeinschaft Ver- suchsreaktor Jülich (AVR)	15 MW brutto	Kugelhafen- reaktor	17.12.1967	01.09.1988	09.03.1994
Heißdampfreaktor Großwelzheim (HDR)	25 MW brutto	Heißdampf- reaktor	14.10.1969	20.04.1971	16.02.1983, 14.05.1998 Entlas- sung aus dem AtG, 15.10.1998 abgebaut
Kernkraftwerk Biblis-A (KWB A)	1.254 MW brutto, 1.167 MW netto	DWR, 2. Gen. Siemens/KWU	26.02.1975	06.08.2011	30.03.2017
Kernkraftwerk Biblis-B (KWB B)	1.300 MW brutto, 1.240 MW netto	DWR, 2. Gen. Siemens/KWU	31.01.1977	06.08.2011	30.03.2017
Kernkraftwerk Brokdorf (KBR)	1.480 MW brutto, 1.410 MW netto	DWR, Vor-Konvoi- Anlage	22.12.1986	31.12.2021	23.10.2024
Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB)	806 MW brutto, 771 MW netto	SWR, Baulinie 69	12.07.1976	06.08.2011	21.12.2018
Kernkraftwerk Emsland (KKE)	1.406 MW brutto, 1.335 MW netto	DWR, Konvoi	19.04.1988	15.04.2023	26.09.2024
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KKG)	1.345 MW brutto, 1.275 MW netto	DWR, Vor-Konvoi- Anlage	17.07.1982	27.06.2015	11.04.2018
Kernkraftwerk Greifswald 1-5 (KGR 1-5)	440 MW brutto/ Block, 408 MW netto/Block	DWR, WWER- 440/230, bzw. /213 (Block 5)	12.07.1974	18.12.1990	30.06.1995
Kernkraftwerk Grohnde (KWG)	1.430 MW brutto, 1.360 MW netto	DWR, Vor-Konvoi- Anlage	01.02.1985	31.12.2021	06.12.2023
Kernkraftwerk Gundrem- mingen-A (KRB-A)	250 MW brutto, 237 MW netto	SWR	12.04.1967	13.01.1977	26.05.1983
Kernkraftwerk Gundrem- mingen-B (KRB-II-B)	1.344 MW brutto, 1.284 MW netto	SWR, Baulinie 72	16.03.1984	31.12.2017	27.03.2019
Kernkraftwerk Gundrem- mingen-C (KRB-II-C)	1.344 MW brutto, 1.284 MW netto	SWR, Baulinie 72	19.07.1984	31.12.2021	26.05.2021
Kernkraftwerk Isar-1 (KKI 1)	912 MW brutto, 878 MW netto	SWR, Baulinie 69	21.03.1979	06.08.2011	17.01.2017
Kernkraftwerk Isar-2 (KKI 2)	1.485 MW brutto, 1.410 MW netto	DWR, Konvoi	09.04.1988	15.04.2023	21.03.2024
Kernkraftwerk Krümmel (KKK)	1.402 MW brutto, 1.346 MW netto	SWR, Baulinie 69	28.03.1984	06.08.2011	20.06.2024

KERNKRAFTWERKE (LEISTUNGS- UND PROTOTYPREAKTOREN)

Bezeichnung	Leistung	Reaktortyp	Beginn des Leistungsbe- triebs	Ende des Leis- tungsbetriebs/ Dauerhafte Außerbetrieb- nahme	Erteilung der ersten Stilllegungs- und Abbau- genehmigung
Kernkraftwerk Lingen (KWL)	268 MW brutto, 183 MW netto	SWR, Prototyp	11.07.1968	05.01.1977	21.11.1985
Kernkraftwerk Mülheim- Kärlich (KMK)	1.302 MW brutto, 1.219 MW netto	DWR, Babcock	18.08.1987	09.09.1988	16.07.2004
Kernkraftwerk Neckar- westheim I (GKN I)	840 MW brutto, 785 MW netto (80% für DB)	DWR, 2. Gen. Siemens/KWU	01.12.1976	06.08.2011	03.02.2017
Kernkraftwerk Neckar- westheim II (GKN II)	1.400 MW brutto, 1.310 MW netto	DWR, Konvoi-Anlage	15.04.1989	15.04.2023	04.04.2023
Kernkraftwerk Niederaich- bach (KKN)	106 MW brutto, 100,4 MW netto	DWR, D2O moderiert	17.12.1972	31.07.1974	21.10.1975, 17.08.1994 Entlas- sung aus dem AtG, 17.08.1995 abgebaut
Kernkraftwerk Obrigheim (KWO)	357 MW brutto, 340 MW netto	DWR, 1. Generation	31.03.1969	11.05.2005	28.08.2008
Kernkraftwerk Philipps- burg-1 (KKP 1)	926 MW brutto, 890 MW netto	SWR, Baulinie 69	26.03.1980	06.08.2011	07.04.2017
Kernkraftwerk Philipps- burg-2 (KKP 2)	1.468 MW brutto, 1.402 MW netto	DWR, Vor-Konvoi-Anlage	18.04.1985	31.12.2019	17.12.2019
Kernkraftwerk Rheinsberg (KKR)	70 MW brutto, 62 MW netto	DWR, Typ WWER 210	10.10.1966	01.06.1990	28.04.1995
Kernkraftwerk Stade (KKS)	672 MW brutto, 640 MW netto	DWR, 2. Gen. Siemens/KWU	01.12.1967	14.11.2003	07.09.2005
Kernkraftwerk Unterweser (KKU)	1.410 MW brutto, 1.345 MW netto	DWR, 2. Gen. Siemens/KWU	06.09.1979	06.08.2011	05.02.2018
Kernkraftwerk Würgassen (KWW)	670 MW brutto, 640 MW netto	SWR, Prototyp	11.11.1975	26.08.1994	14.04.1997
Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage (KNK II)	20 MW brutto, 17 MW netto	Natriumgekühlter schneller Brutreaktor	09.04.1978	23.08.1991	26.08.1993
Mehrzweck- Forschungsreaktor (MZFR)	57 MW brutto, 52 MW netto	DWR, D2O moderiert	09.03.1966	03.05.1984	17.11.1987
Thorium-Hochtemperatur- reaktor (THTR-300)	308 MW brutto, 296 MW netto	Kugelhaufen- reaktor	16.11.1985	29.09.1988	22.10.1993
Versuchsatomkraftwerk Kahl (VAK)	16 MW brutto	SWR, Prototyp	17.05.1961	25.11.1985	05.05.1988, 17.05.2010 Entlassung aus dem AtG, 24.09.2010 abgebaut

FORSCHUNGSREAKTOREN

Bezeichnung	Leistung	Reaktortyp	Inbetriebnahme	Außerbetriebnahme	Erteilung der ersten Stilllegungsgenehmigung
Berliner Experimentier-Reaktor II (BER-II)	10 MW	Schwimmbadreaktor / MTR	09.12.1973	11.12.2019	–
Forschungsreaktor-2 Karlsruhe (FR-2)	44 MW	Schwerwassergekühlter und -moderierter Tank-Reaktor	07.03.1961	21.12.1981	03.07.1986 / 20.11.1996 (SE)
Forschungsreaktor Geesthacht-1 (FRG-1)	5 MW	offener Schwimmbadreaktor	23.10.1958	28.06.2010	–
Forschungsreaktor Geesthacht-2 (FRG-2)	15 MW	offener Schwimmbadreaktor	16.03.1963	17.01.1995	–
Forschungsreaktor Jülich 2 (FRJ-2)	23 MW	Tank-Schwerwasserreaktor mit hochangereichertem Uran	14.11.1962	02.05.2006	20.09.2012
Forschungsreaktor München (FRM)	4 MW	Schwimmbadreaktor	31.10.1957	28.07.2000	03.04.2014
Forschungsreaktor Neuherberg (FRN)	1 MW	Schwimmbadreaktor/ TRIGA MARK-III	23.08.1972	16.12.1982	30.05.1983 / 24.05.1984 (SE)
Siemens-Unterrichtsreaktor Aachen (SUR-AA)	0,1 W	Feststoffmoderierter Nullleistungsreaktor/ SUR 100	22.09.1965	Seit 2008 kernbrennstofffrei	26.06.2020
Forschungs- und Messreaktor Braunschweig (FMRB)	1 MW	Schwimmbadreaktor/ MTR	03.10.1967	19.12.1995	02.03.2001 / 28.07.2005 (Anlage bis auf Zwischenlager aus dem AtG entlassen)

SE = Sicherer Einschluss

¹ FRG-2 ist außer Betrieb und teilabgebaut. Da es sich um eine gemeinsame Anlage mit FRG-1 handelt, ist formal nur eine gemeinsame Stilllegung möglich.

ANLAGEN DER VER- UND ENTSORGUNG

Bezeichnung	Kürzel	Betriebsbeginn	Außerbetriebnahme	Stilllegungsbeginn
Siemens Power Generation Karlstein	SPGK	1968/69	1989	Frühjahr 1993
Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe mit Verglasungseinrichtung (VEK)	WAK	1971	1990	22.03.1993

Kurzbeschreibung ausgewählter Stilllegungsprojekte

Im Folgenden werden einzelne Stilllegungsprojekte zusammenfassend beschrieben. Diese wurden aufgrund ihrer individuellen Besonderheiten ausgewählt, beispielsweise weil sie die ersten Anlagen ihres Typs in Stilllegung sind oder eine außergewöhnliche Bauweise haben.

AVR

AVR-VERSUCHSKERNKRAFTWERK JÜLICH

Mit dem gasgekühlten Hochtemperaturreaktor, der im Jahr 1967 damit begann, Strom in das öffentliche Netz einzuspeisen, wurde weltweit erstmalig das Konzept eines Kugelhaufenreaktors umgesetzt. Während des 21-jährigen Leistungsbetriebs wurden zahlreiche Forschungsziele zu der neuen Reaktortechnik erreicht. Ende des Jahres 1988 wurde das Versuchskernkraftwerk abgeschaltet und ging zunächst in den sicheren Einschluss, bevor im Jahr 2009 die Genehmigung zu Stilllegung und Abbau der Anlage erteilt wurde.

Ein Meilenstein von Stilllegung und Abbau stellte das Ausheben und Abtransportieren des Reaktorbehälters in einem Stück dar. Hierfür wurde an das Reaktorgebäude eine Materialschleuse mit Krananlage angebaut, sodass das Reaktorgebäude so weit entfernt werden konnte, bis das Ausheben des Reaktorbehälters möglich war. Der Behälter wurde mit Porenleichtbeton verfüllt, um radioaktive Stoffe im Inneren zu binden und die Strukturen des Behälters zu stabilisieren. Der 2.000 Tonnen schwere Reaktorbehälter wurde nach dem Ausheben aus dem Gebäude in der Materialschleuse in die Horizontale gedreht, um ihn so im Mai 2015 in das eigens hierfür errichtete Zwischenlager auf dem Gelände des Forschungszentrums Jülich zu transportieren. Es ist vorgesehen, den Behälter nach etwa 60 Jahren zu zerlegen, wenn die Radioaktivität im Inneren deutlich abgeklungen ist. In der Zwischenzeit können die verbliebenen Komponenten und das Reaktorgebäude vollständig entfernt werden.

Derzeit finden umfangreiche Abbrucharbeiten im Reaktorgebäude statt. Stilllegung und Abbau sind weit fortgeschritten.

GKN II

GEMEINSCHAFTSKERNKRAFTWERK NECKARWESTHEIM II

Das Kernkraftwerk Neckarwestheim II (GKN II) gehört zu den drei Anlagen, welche am 15. April 2023 als letzte deutsche Kernkraftwerke endgültig abgeschaltet wurden. Die Laufzeit wurde zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit im Winter 2022/2023 gegenüber dem ursprünglich vorgesehenen Abschaltdatum um 3,5 Monate verlängert. GKN II besitzt – wie auch die Kernkraftwerke Emsland (KKE) und Isar II (KKI-2) – den fortschrittlichsten in Deutschland verbauten Druckwasserreaktor vom Typ-Konvoi. Die Stilllegung und der Abbau der zuletzt abgeschalteten Anlagen werden voraussichtlich zügiger und mit geringerem Expositions-Potenzial für das Personal voranschreiten, da beim Design der jüngeren Anlagen radiologische Aspekte nochmals besser berücksichtigt wurden und darüber hinaus Erfahrungen und Erkenntnisgewinne aus bereits länger laufenden Rückbauprojekten einfließen.

Für GKN II wurde die Stilllegungs- und Abbaugenehmigung am 5. April 2023 – und damit vor dem endgültigen Ende des Leistungsbetriebs – erteilt. Die Stilllegungsarbeiten begannen Mitte Mai 2023, also etwa einen Monat nach der Abschaltung. Der Schwerpunkt der ersten größeren Abbauaktivitäten nach der Abschaltung von GKN II lag auf dem Primärkreislauf, insbesondere auf dessen Dekontamination. Die Hauptkühlmittelleitungen, die Bestandteil des Primärkreislaufs waren, wurden mittlerweile unter anderem mithilfe einer Rohrtrennmaschine vollständig demontiert und zerlegt.

Nach gegenwärtiger Einschätzung der Betreiberin werden die im Geltungsbereich des Atomrechts durchgeführten Abbauarbeiten, gerechnet ab dem offiziellen Beginn der Abbauphase, voraussichtlich etwa zehn bis fünfzehn Jahre in Anspruch nehmen.

KGR

KERNKRAFTWERK GREIFSWALD

In der DDR waren für den Kernkraftwerksstandort Greifswald (KGR) an der Ostsee acht Kernkraftwerksblöcke mit Druckwasserreaktoren sowjetischer Bauart mit einer elektrischen Leistung von je 440 MWe vorgesehen. Im Jahr 1989 befanden sich die Blöcke 1 bis 4 im Betrieb (Inbetriebnahme zwischen den Jahren 1974 und 1979) und Block 5 in der Inbetriebnahme, während die Blöcke 6 bis 8 sich noch im Bau befanden. Die einzelnen Blöcke des Kernkraftwerks wurden Ende des Jahres 1989 bzw. im Verlauf des Jahres 1990 im Rahmen der Wiedervereinigung Deutschlands endgültig abgeschaltet. Um diese Kernreaktoren nach bundesdeutschem Atomrecht zu betreiben, wären umfangreiche Nachrüstmaßnahmen notwendig geworden.

Die erste Stilllegungs- und Abbaugenehmigung wurde im Jahr 1995 erteilt. Das Stilllegungskonzept sieht vor, dass die Gesamtanlage abgebaut und aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen wird. Der Umfang der Abbauarbeiten und die dabei entstehende Menge an Abfällen und Reststoffen machen die Stilllegung der Anlagen am Kernkraftwerksstandort Greifswald zu einem der weltweit größten Projekte seiner Art. Der Abbau erfolgt von den gering zu den höher kontaminierten und zuletzt zu den aktivierten Anlagenteilen.

Die letzten Großkomponenten, wie Dampferzeuger und die Reaktordruckbehälter, wurden im Jahr 2013 zur Abklinglagerung [Abb. 22](#) in das sich am Standort befindliche Zwischenlager Nord (ZLN) gebracht. Im Kontrollbereich der Reaktorblöcke ist die Anlagendemontage sehr weit fortgeschritten. Anders als bei den übrigen KKW wird die Stilllegung des Kernkraftwerks Greifswald mit Geldern der öffentlichen Hand finanziert.

KKN

KERNKRAFTWERK NIEDERAICHBACH

Das Kernkraftwerk Niederaichbach (KKN) war in den Jahren 1972 bis 1974 in Betrieb, wurde jedoch aus wirtschaftlichen und technischen Gründen im Jahr 1974 endgültig abgeschaltet. Bereits im Oktober 1975 wurde die Genehmigung zur Überführung der Anlage in den sicheren Einschluss erteilt, und im Oktober 1981 folgte die endgültige Genehmigung zum sicheren Einschluss.

Die Brennelemente wurden zum CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives) nach Frankreich verbracht. Der vollständige Abbau der Anlage wurde im Juni 1986 genehmigt. Bemerkenswert für diese Zeit war beim Abbau des KKN der Einsatz eines fortschrittlichen Manipulators, der beim Abbau des Reaktordruckbehälters und dessen Einbauten eingesetzt wurde. Das komplexe, für das KKN maßgeschneiderte System konnte diverse Werkzeuge tragen, wies einen hohen Automatisierungsgrad auf und war sehr flexibel einsetzbar. Die Erfahrung lehrte jedoch, dass oft einfacheren, robusten Manipulatorsystemen der Vorzug zu geben ist, weil diese zeit- und ressourcenschonend eingesetzt werden können.

Am 17. August 1995 wurde der Abbau des KKN erfolgreich beendet und die Anlage aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen. Damit wurde das KKN zum weltweit ersten Kernkraftwerk mit nennenswerter Leistung (ca. 100 MWe), dessen Stilllegung mit der Übergabe des Standorts als sogenannte „Grüne Wiese“ beendet wurde. Dieser Meilenstein zeigte in Deutschland erstmals, dass sowohl die technische Umsetzung eines vollständigen Stilllegungsprozesses als auch das dazugehörige atomrechtliche Genehmigungsverfahren erfolgreich realisierbar sind.

KKS

KERNKRAFTWERK STADE

Beim Kernkraftwerk Stade (KKS) handelt es sich um den ersten kommerziellen Druckwasserreaktor, der in der Bundesrepublik Deutschland betrieben wurde. Nach 31-jähriger Betriebszeit wurde das Kraftwerk im November 2003 aus wirtschaftlichen Gründen endgültig abgeschaltet. Die Anlage erhielt im September 2005 die Stilllegungs- und Abbaugenehmigung. Die Dampferzeuger des Kernkraftwerks Stade wurden zum Einschmelzen abtransportiert. Die aufgrund ihrer Aktivität nicht wieder verwendbaren Anteile (d. h. die Schlacke und ein Anteil der erzeugten Gießlinge) werden als radioaktiver Abfall entsorgt. Gegenüber der ursprünglichen Planung hat sich die Stilllegung der Anlage aufgrund von unerwarteten Kontaminationsfunden im Bereich der gewölbten Beton-Bodenplatte um rund zehn Jahre verzögert. In der Abbauphase IV, die im Zweitraum zwischen den Jahren 2011 und 2022 stattfand, wurden im Wesentlichen alle noch verbliebenen Einrichtungen im Kontrollbereich demontiert und große Betonstrukturen abgebaut. Der konventionelle Abbruch einzelner Gebäude auf dem Kraftwerksgelände begann im Jahr 2023. Im Frühjahr des Jahres 2024 konnte mit dem Abbruch des Maschinenhauses begonnen werden, nachdem der konventionelle Rückbau der umliegenden Gebäude abgeschlossen war.

Der konventionelle Abbruch der Gebäude im Überwachungsbereich erfolgt schrittweise. Es werden derzeit weitere Gebäude abgerissen. Im Jahr 2026 soll das Reaktorgebäude des KKS als eines der letzten Bauwerke auf dem Kraftwerksgelände abgebrochen werden. Damit wird das KKS voraussichtlich der erste kommerziell genutzte Druckwasserreaktor Deutschlands sein, dessen Gebäude vollständig zurückgebaut wurden.

KMK

KERNKRAFTWERK MÜLHEIM-KÄRLICH

Das Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich wurde in den Jahren 1975 bis 1986 als Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Leistung von 1.302 MWe errichtet und befindet sich etwa zehn Kilometer nordwestlich der Stadt Koblenz. Im August 1987 wurde der kommerzielle Betrieb der Anlage aufgenommen. Bereits nach einem Jahr Betriebszeit wurde die Anlage aus rechtlichen Gründen außer Betrieb genommen.

Während des nachfolgenden Rechtsstreits wurde die Anlage zwischen 1989 und 2000 zunächst in einem Zustand gehalten, der eine Wiederaufnahme des Leistungsbetriebs ermöglicht hätte. Im Rahmen des sogenannten Atomkonsens aus dem Jahre 2000 wurde beschlossen, das Kernkraftwerk stillzulegen, 2002 wurde der Kernbrennstoff entfernt. Die Stilllegungs- und Abbaugenehmigung für die erste Abbauphase wurde im Jahr 2004 erteilt. Seitdem konnten größere Flächen der Anlage bereits aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen werden. Dies liegt u. a. daran, dass ursprünglich ein weiterer Reaktor geplant war, dessen Bau jedoch nie umgesetzt wurde, sodass ein erheblicher Teil des Areals nie genutzt wurde. Seit Mitte 2022 wird der Reaktordruckbehälter abgebaut, größtenteils ferngesteuert.

Die Aktivierung von kernnahen Strukturen und damit auch das radioaktive Inventar fallen aufgrund der kurzen Betriebszeit geringer aus als bei vergleichbaren Anlagen. Hinzu kommt, dass sich das Aktivitätsinventar aufgrund des langen Zeitraums zwischen dem Ende des Leistungsbetriebs und dem Beginn des Abbaus durch den radioaktiven Zerfallsprozess weiter reduziert hat.

KWO

KERNKRAFTWERK OBRIGHEIM

Das Kernkraftwerk Obrigheim (KWO) war das erste, welches in Deutschland im Rahmen des sogenannten Atomkonsens aus dem Jahre 2000 endgültig abgeschaltet wurde. Die endgültige Abschaltung nach über 36 Jahren Leistungsbetrieb erfolgte im Jahr 2005. Eine Systemdekontamination im Jahr 2007 senkte das Aktivitätsniveau durchschnittlich um den Faktor 600.

Die Stilllegung und der Abbau der Anlage sollen auf Basis von vier eigenständigen Genehmigungen erfolgen. Nach Erteilung der ersten Stilllegungs- und Abbaugenehmigung wurde im Jahr 2008 mit der Stilllegung begonnen. Die vierte und letzte Abbaugenehmigung wurde im Jahr 2018 erteilt, sodass nun sämtliche Systeme und Anlagenteile in den Genehmigungen erfasst sind und die Anlage vollständig abgebaut werden kann.

Die Stilllegung befindet sich in einem fortgeschrittenen Stadium: Sowohl das Maschinenhaus als auch das Reaktorgebäude sind weitgehend entkernt, alle größeren Komponenten wurden bereits entfernt. Der rund 135 Tonnen schwere Reaktordruckbehälter und seine Einbauten wurden vollständig fernbedient unter Wasser zerlegt. Auch die beiden rund 160 Tonnen schweren Dampferzeuger sind demontiert und zur externen Bearbeitung in das ZLN transportiert worden. Derzeit werden die freigeräumten Gebäudebereiche nochmals radiologisch ausgemessen, um den möglichen Bedarf an Maßnahmen – also gegebenenfalls einen tieferen Abtrag an Böden, Wänden, Decken oder größeren Betonstrukturen – festzulegen.

KWB A und B

KERNKRAFTWERK BIBLIS BLÖCKE A UND B

Das Kernkraftwerk Biblis Block A (KWB A) nahm im Jahr 1975 den Leistungsbetrieb auf, Biblis Block B (KWB B) im Jahr 1977. Beide Blöcke hatten Druckwasserreaktoren und erreichten jeweils eine elektrische Leistung von 1.225 MWe. Sie teilen sich am Standort diverse Sozial- und Nebengebäude.

Die Anlagen verloren mit der 13. Novelle des Atomgesetzes vom 6. August 2011 im Nachgang zu den Ereignissen in Fukushima die Berechtigung zum Leistungsbetrieb. Für beide Blöcke stellte der Betreiber im August 2012 jeweils einen Antrag auf Stilllegung und Abbau. Die beiden Anlagen befanden sich bis zur Erteilung der 1. Stilllegungs- und Abbaugenehmigung am 30. März 2017 in der Nachbetriebsphase. In dieser Phase wurden bereits Tätigkeiten durchgeführt, welche durch die Betriebsgenehmigung abgedeckt waren und die Stilllegung positiv beeinflussten. So wurde u. a. eine Dekontamination der Primärkreise durchgeführt. KWB A war bereits seit Ende des Jahres 2016 frei von Kernbrennstoff, aus KWB B wurde im Juni 2019 der letzte CASTOR-Behälter mit Kernbrennstoff in das Zwischenlager verbracht.

Die jeweils 1. Stilllegungs- und Abbaugenehmigung umfasst u. a. den Abbau der Reaktordruckbehältereinbauten, den Abbau von nicht mehr benötigten Systemen und Einrichtungen und einer Vielzahl von Bauteilen (z. B. Dampferzeuger, Primärkühlmittelpumpen etc.). Im Jahr 2020 wurde für die Stilllegung der Anlagen KWB A und KWB B noch je eine weitere Genehmigung erteilt, die dann den Abbau des Reaktordruckbehälters, des Bioschildes und weiterer Einrichtungen umfasste.

Derzeit konzentrieren sich die Arbeiten auf die technische Stillsetzung und den Abbau von Systemen in den Bereichen, in denen neue Technik für die Bearbeitung und Behandlung von Reststoffen installiert werden soll.

Der Abbau der Großkomponenten hat bereits begonnen. So wurden im Reaktorgebäude Block A beispielsweise die Dampferzeuger, Hauptkühlmittelleitungen und -pumpen sowie der Druckhalter ausgebaut. Der Schwerpunkt der Abbauarbeiten liegt derzeit auf Block B. Dort werden aktuell die Dampferzeuger und der Druckhalter zurückgebaut. Darüber hinaus erfolgt die Zerlegung der Einbauten des Reaktordruckbehälters einschließlich des Reaktordruckbehälterdeckels.

In den bereits geräumten Raumbereichen von Block A wurde eine sogenannte Abbaufabrik eingerichtet. Dort werden beispielsweise ausgebaute Komponenten und Anlagenteile mittels großer Sägen nachzerlegt, anschließend dekontaminiert und dem Freigabeprozess zugeführt.

Das übergeordnete Ziel ist es, die Anlage innerhalb eines Zeitraums von 15 Jahren aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung zu entlassen; das wird voraussichtlich Mitte der 2030er Jahre so weit sein.

KWW

KERNKRAFTWERK WÜRGASSEN

Das Kernkraftwerk Würgassen (KWW) war die erste rein kommerzielle Siedewasserreaktoranlage, die in der Bundesrepublik Deutschland betrieben wurde und im Gegensatz zum VAK keinen Forschungscharakter besaß. Sie wies eine elektrische Leistung von 670 MWe auf und speiste nach knapp vier Jahren Bauzeit am 18. Dezember 1971 erstmalig Strom ins öffentliche Netz ein. Es handelte sich um eine Modellanlage eines Siedewasserreaktors mit direkter Dampfeinspeisung vom Reaktor in die Turbine, wie sie später in Deutschland in abgewandelter Form mehrfach realisiert wurde. Nach Rissbefunden am Kernmantel und an den Kerngittern, die für einen Weiterbetrieb eine Grundsanierung der Kerneinbauten erforderlich gemacht hätten, erfolgte am 29. Mai 1995 der Stilllegungsbeschluss aus wirtschaftlichen Gründen. Am 14. April 1997 wurde die erste Stilllegungs- und Abbaugenehmigung für KWW erteilt.

Die Tätigkeiten zur Stilllegung der Anlage im Reaktorgebäude, Maschinenhaus und den angrenzenden Bauteilen im Kontrollbereich konnten im Jahr 2014 abgeschlossen werden. Eine Innenansicht des entkernten Reaktorgebäudes ist in [Abb. 53](#) dargestellt. Teile des nicht für Lagerzwecke benötigten Betriebsgeländes konnten seit Ende des Jahres 2017 aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen werden. Das Ende der Stilllegungsarbeiten wird laut Betreiber für die Jahre 2029 oder 2030 erwartet. Stilllegungsziel ist die Rekultivierung des Geländes („Grüne Wiese“) nach dem Abbruch der Gebäude.

THTR-300

THORIUM-HOCHTEMPERATURREAKTOR

Der Thorium-Hochtemperaturreaktor (THTR-300) war ein gasgekühlter Hochtemperaturreaktor mit einer elektrischen Leistung von 300 MWe in Hamm-Uentrop. Mit dieser Prototypanlage sollte nach dem ersten Erfolg der Stromerzeugung mit dem AVR die technische Eignung und Wirtschaftlichkeit für die kommerzielle Stromerzeugung eines solchen Reaktortyps erprobt werden. Im Aufbau war der THTR-300 dem AVR ähnlich, jedoch deutlich leistungsstärker.

Die Anlage bestand aus zwei Kreisläufen: Im Primärkreislauf wurde die freiwerdende Wärme des in Graphitkugeln eingebauten Kernbrennstoffs mit Heliumgas als Kühlmittel zu den Dampferzeugern transportiert, wo sie in einem zweiten unabhängigen Wasser-Dampf-Kreislauf aufgenommen wurde. Der erzeugte Dampf wurde wie in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren zur Stromerzeugung über eine Turbine verwendet. Der THTR-300 ging erstmals im Herbst des Jahres 1983 in Betrieb und wurde im Jahr 1988 endgültig abgeschaltet.

Im Jahr nach der Abschaltung wurden mit einer ersten Teilgenehmigung vorbereitende Arbeiten wie die Entladung des Reaktorkerns und erste Castor-Transporte nach Ahaus durchgeführt. Mit der zweiten Teilgenehmigung konnten die Gassysteme abgebaut und weitere vorbereitende Arbeiten durchgeführt werden, sodass mit der letzten Teilgenehmigung im Jahr 1997 der Abbaubetrieb eingestellt und der sichere Einschluss betrieben werden konnte. Seitdem befindet sich der THTR-300 im Erhaltungsbetrieb und ist der einzige Leistungsreaktor, der sich gegenwärtig im sicheren Einschluss befindet.

VAK

VERSUCHSATOMKRAFTWERK KAHL

Das Versuchsatomkraftwerk Kahl (VAK) war das erste Kernkraftwerk in Deutschland. Obwohl es sich um eine Versuchsanlage handelte, wurde es kommerziell in Auftrag gegeben, errichtet und betrieben. Am 17. Juni 1961 speiste das VAK als erstes deutsches Kernkraftwerk elektrischen Strom ins öffentliche Netz ein. Die Anlage verfügte über einen Siedewasserreaktor mit einer elektrischen Leistung von 16 MWe (zum Vergleich: das im Jahr 1974 in Betrieb genommene Kernkraftwerk Biblis wies bereits eine Leistung von mehr als 1.200 MWe auf). Im Jahr 1985 wurde das VAK planmäßig nach 25 Betriebsjahren endgültig abgeschaltet, nachdem es seine wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Aufgaben erfüllt hatte. In Summe betrug die Betriebszeit 150.000 Stunden, bei der insgesamt 2.000 GWh Strom ins Netz geliefert wurden. Das Kraftwerk diente somit nicht nur als Testanlage, insbesondere für Brennelemente, sondern leistete auch einen wichtigen Beitrag zur frühen Stromversorgung aus Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland.

Die Stilllegung wurde im Jahr 1988 begonnen. Die Stilllegungsarbeiten waren in vier Teilprojekte aufgeteilt, die mit in fünf Phasen unterteilten Stilllegungsgenehmigungen behördlich freigegeben wurden. Der Abbau der Anlage wurde im September 2010 mit der Herstellung der „Grünen Wiese“ abgeschlossen. Die Entlassung aus dem AtG erfolgte zuvor am 17. Mai 2010. Dass die bis zum vollständigen Abbau benötigte Zeit länger als die Betriebszeit war und die Kosten höher als die der Errichtung, lag unter anderem daran, dass beim Abbau auch neue Techniken erprobt wurden. Dabei wurden neuartige Verfahren der Dekontaminierung und Materialtrennung angewendet, die später bei der Stilllegung anderer Anlagen zum Einsatz kommen sollten.

FR 2

FORSCHUNGSREAKTOR 2

Der Forschungsreaktor 2 (FR 2) markiert den Beginn des Kernforschungszentrums Karlsruhe. Die Anlage hatte eine thermische Leistung von 50 MW und diente als Neutronenquelle für vielfältige physikalische Experimente. Der Kernreaktor genügte aber Anfang der 1980er Jahre den Ansprüchen der Forscher nicht mehr und wurde daher im Jahr 1981 außer Betrieb genommen.

In den Jahren 1982 bis 1986 wurden die Brennelemente und das Kühlmittel entfernt und die Versuchskreisläufe abgebaut. Im Jahr 1986 erhielt die Forschungsreaktoranlage die erste Teilgenehmigung zur Stilllegung und zum sicheren Einschluss, und im Jahr 1993 begannen weitere Abbau- und Dekontaminationsmaßnahmen. Am 20. November 1996 endeten Stilllegung und Abbau des FR 2 vorläufig damit, dass der sichere Einschluss des Reaktorblocks erreicht war.

Die aktuelle Planung sieht vor, dass der FR 2 Anfang der 2030er Jahre zurückgebaut werden soll. Die Erteilung einer entsprechenden Genehmigung steht noch aus. Mit Ausnahme des Reaktorblocks sind alle radioaktiven Komponenten aus der Anlage entfernt. Neben- und Hilfsanlagen und nicht mehr sinnvoll nutzbare Gebäude sind abgebaut. Der freigewordene Baugrund wurde nach Entlassung aus der Überwachung rekultiviert.

Das Reaktorgebäude ist bis auf den Bereich des eingeschlossenen Reaktorkerns frei zugänglich und beherbergt heute eine für die Öffentlichkeit zugängliche Ausstellung zur Entwicklung der Kernenergie und zur kerntechnischen Forschung.

FRF-1

FORSCHUNGSREAKTOR FRANKFURT

Der Forschungsreaktor Frankfurt (FRF-1) wurde im Jahr 1957 von der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität in Betrieb genommen. Der Kernbrennstoff war eine wässrige Uranyl-sulfatlösung. Aufgrund technischer Probleme wurde der Reaktor im Jahr 1968 abgeschaltet. Der neue FRF-2, ein TRIGA-Reaktor, wurde in den Jahren von 1973 bis 1977 eingebaut, ging jedoch nie in Betrieb. Die Erlaubnis zur Stilllegung sowie dem Abbau von Teilen des Forschungsreaktors wurde im Jahr 1980 erteilt.

Die Genehmigung für Stilllegung und Abbau der Anlage wurde Ende des Jahres 2004 erteilt. Die Stilllegungs- und Abbauarbeiten wurden von März 2005 bis August 2006 durchgeführt. Die Anlage wurde mit Bescheid vom 31. Oktober 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen.

Der Reaktorblock aus Schwerstbeton wurde mittels eines Hydraulikmeißels in Form eines Tunnels ausgearbeitet, der Graphit im Innern des Blockes manuell mit Stangenwerkzeugen entfernt und alle anderen Anbauteile mit dem Kran ausgehoben. Nach dem Ausbohren der Strahlrohre durch Kernbohrungen konnte die aktivierte Struktur von innen heraus demontiert werden. Dies erfolgte durch Erweitern des Tunnels mit einer kombinierten Vorgehensweise von Betonbohrgerät und Seilsäge. Anschließend erfolgte die Demontage der sonstigen Systeme.

Die radioaktiven Abfälle wurden bei der Landessammelstelle Hessen abgegeben und die Freimessung von Reststoffen erfolgt im VKTA, Rossendorf.

TRIGA HD I und II

FORSCHUNGSREAKTOREN TRIGA HEIDELBERG

Der Forschungsreaktor TRIGA HD I, ein sogenannter Schwimmbadreaktor vom Typ TRIGA MARK-I mit einer thermischen Leistung von 0,25 MW, befand sich am Standort des Deutschen Krebsforschungszentrums (DKFZ) in Heidelberg und wurde vom Institut für Nuklearmedizin betrieben. Er diente primär der Erzeugung kurzlebiger Radionuklide für medizinische Zwecke sowie weiterer Analysen im Rahmen der Krebsforschung. Der Reaktor ging im August 1966 in Betrieb und wurde aufgrund des Neubaus eines zweiten Forschungsreaktors (TRIGA HD II) im März 1977 endgültig abgeschaltet.

Der neuere Forschungsreaktor gleicher Bauart, TRIGA HD II, nahm im Folgejahr seinen Betrieb auf und wurde nach 21-jähriger Betriebsdauer im November 1999 endgültig abgeschaltet, da er aufgrund neuer Forschungsschwerpunkte nicht mehr benötigt wurde. Seine Aufgaben bestanden vorwiegend aus medizinisch-biologischen Anwendungen im Bereich der onkologischen Forschung. Der TRIGA HD II erhielt seine Stilllegungs- und Abbaugenehmigung im Jahr 2004.

Die Anlage TRIGA HD I befand sich in den Jahren zwischen 1980 und 2006 in einer Phase des sicheren Einschlusses und wurde im Jahr 2006 nach dem Erhalt der Abbaugenehmigung vollständig abgebaut. Bei TRIGA HD II wurde der direkte Abbau im Jahr 2005 abgeschlossen. Die gleichzeitige Anwendung zweier Stilllegungsstrategien auf zwei nahezu baugleiche Reaktoren lässt Vergleiche der Vor- und Nachteile beider Vorgehensweisen zu.

WAK

WIEDERAUFARBEITUNGSANLAGE KARLSRUHE

Die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) liegt auf dem Gelände des ehemaligen Forschungszentrums Karlsruhe (heute: Karlsruher Institut für Technologie (KIT)). Sie diente als Pilotanlage zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen im technischen Maßstab, wobei die Anreicherung auf 3 % (U-235) beschränkt war. Im Betrieb sollten Erfahrungen mit neuen Verfahrenstechniken und Verfahrensschritten gesammelt werden. Von 1971 bis 1990 wurden in der WAK über 200 Tonnen Kernbrennstoffe aus verschiedenen Versuchs- und Leistungsreaktoren aufgearbeitet.

Der Anlagenkomplex besteht aus mehreren Gebäuden unterschiedlichen Alters. Neben dem Prozessgebäude sind verschiedene Lagergebäude sowie die Verglasungseinrichtung VEK abzubauen. Bedingt durch Kontamination mit Kernbrennstoff und dessen Spalt- und Zerfallsprodukten, liegt eine Aktivität vor, die deutlich höher als in den aktivierten Kerneinbauten in Kernkraftwerken ist. Dies macht den Abbau besonders herausfordernd, entsprechende Arbeiten erfolgen zu einem großen Teil fernhantiert. Der Arbeitsschwerpunkt bei Stilllegung und Abbau der WAK-Anlage lag in den ersten Jahren auf dem Leerräumen des Prozessgebäudes, dessen Demontage im Jahr 1996 begann. Ende des Jahres 2002 waren die wesentlichen Prozesseinrichtungen entfernt. Im Jahr 2015 begannen die Vorbereitungen für Stilllegung und Abbau des ersten von vier großen Lagertanks, die einst zur Lagerung hochradioaktiver Abfalllösungen dienten. Dazu musste eine 1,80 Meter dicke Wand ferngesteuert aufgesägt werden. Im Jahr 2022 wurde die Wand zu einer weiteren Zelle geöffnet. Nach umfangreichen Vorbereitungen konnte der zweite Lagertank fristgerecht im Jahr 2026 abgebaut werden.

GLOSSAR

A

ABFALLKONDITIONIERUNG

Prozess, bei dem radioaktive Abfälle in eine chemisch stabile und wasserunlösliche oder nur schwer lösliche Form überführt und anschließend in entsprechende Behälter verpackt werden. Die Wahl des Verfahrens, wie beispielsweise Verbrennen oder Verpressen, richtet sich nach der Art des radioaktiven Abfalls. Die Konditionierung ist eine Voraussetzung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle und dient zudem der Volumenreduktion.

AKTIVIERUNG

Prozess, bei dem durch Bestrahlung, beispielsweise mit Neutronen aus einem laufenden Kernreaktor, manche Stoffe selbst radioaktiv werden. Die entstandenen Radionuklide verteilen sich über das Volumen des Materials und sind daher praktisch nicht entfernbar.

AKTIVITÄT

Anzahl der zerfallenden Atomkerne pro Zeiteinheit für einen radioaktiven Stoff. Die Einheit für die Aktivität ist Becquerel (Bq).

ALARA-PRINZIP

Das ALARA-Prinzip („As Low As Reasonably Achievable“) im Strahlenschutz fordert, die Strahlenexposition im Rahmen der ausgeübten Tätigkeit so gering wie möglich zu halten. Dabei werden technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Faktoren berücksichtigt.

ALPHA STRAHLUNG

Eine Form ionisierender Strahlung, die aus Helium-Atomkernen besteht. Diese tritt bei einem bestimmten radioaktiven Zerfall (Alpha-Zerfall) auf. Aufgrund ihrer elektrischen Ladung und relativ großen Masse haben Alphateilchen nur eine sehr geringe Eindringtiefe in Materie und lassen sich leicht abschirmen. Alphastrahler sind bei einer Bestrahlung von außen für den Menschen relativ ungefährlich, bei einer Aufnahme in den Körper (z. B. mit der Atemluft) haben sie aber eine schädliche Wirkung als Beta- oder Gammastrahler.

ANLAGEN DER VER- UND ENTSORGUNG

Anlagen, die der Versorgung mit oder der Entsorgung von radioaktiven Stoffen dienen, wie z. B. Herstellung und Wiederaufarbeitung von Brennelementen oder die Konditionierung von Abfällen.

ANREICHERUNG

Vorgang, bei dem der Anteil eines bestimmten Isotops gegenüber dem natürlichen Gehalt erhöht wird. [Siehe auch Urananreicherung.](#)

AUFSICHTSVERFAHREN

Überwachung der Einhaltung aller Vorschriften des Atomgesetzes, der zugehörigen Rechtsverordnungen und der Bestimmungen der Genehmigungsbescheide bei Errichtung, Betrieb und Stilllegung kerntechnischer Anlagen durch die atomrechtliche Aufsichtsbehörde.

B

BECQUEREL

Maßeinheit der Aktivität eines radioaktiven Stoffes. 1 Becquerel (Bq) entspricht dem Zerfall eines Atomkerns pro Sekunde.

BETA STRAHLUNG

Eine Form ionisierender Strahlung, die aus Elektronen (bzw. deren Antiteilchen, den Positronen) besteht. Diese tritt bei einem bestimmten radioaktiven Zerfall (Beta-Zerfall) auf.

BIOLOGISCHER SCHILD

Dickwandige Betonstruktur (ca. 2 m), die den Reaktordruckbehälter umgibt und Neutronenstrahlung und Gammastrahlung abschirmt.

BRENNELEMENT

Ein Bauteil, in dem sich der Kernbrennstoff befindet. Brennelemente werden im Kernreaktor genutzt, um eine nukleare Kettenreaktion zur Energieerzeugung aufrechtzuerhalten.

D

DAMPFERZEUGER

Komponente zur Erzeugung von Wasserdampf, die in einem Druckwasserreaktor genutzt wird, um die Wärme aus dem Reaktorkern (Primärkreis) an den Sekundärkreis abzugeben, der die Generatorturbine speist.

DEKONTAMINATION

Entfernung von (radioaktiven) Kontaminationen durch den Einsatz geeigneter technischer Verfahren.

DIREKTER ABBAU

Stilllegungsstrategie, bei der eine kerntechnische Anlage ohne vorherigen sicheren Einschluss unmittelbar abgebaut wird.

DOSIMETER

Messinstrument, das die Personen- oder Ortsdosis messen kann. Je nach Messaufgabe besitzen Dosimeter verschiedene Eigenschaften und Funktionen.

DOSIS

Bezeichnet die Menge eines Stoffes oder einer Strahlung, die einem Organismus zugeführt bzw. von diesem aufgenommen wird. Die beim Zerfall radioaktiver Stoffe ausgesendete Strahlung ruft bei ihrer Absorption in Materie bzw. Gewebe eine bestimmte Wirkung hervor, deren Maß als effektive Dosis bezeichnet und in Sievert (Sv) angegeben wird.

DOSISLEISTUNG

Quotient aus der Dosis und der Zeit. Sie gibt die Intensität an, mit der die ionisierende Strahlung innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls auf die Umgebung und allem darin Befindlichen wirkt.

DOSISGRENZWERTE

Obergrenzen für Dosen für die allgemeine Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen, die im Strahlenschutzgesetz und in der Strahlenschutzverordnung festgelegt sind. Für beruflich strahlenexponiertes Personal (Personen, die in kerntechnischen Anlagen einer erhöhten Strahlenexposition ausgesetzt sind) liegt der Grenzwert bei 20 mSv pro Kalenderjahr, für Einzelpersonen der Bevölkerung bei 1 mSv pro Kalenderjahr.

DWR

Druckwasserreaktor (wassergekühlt).

E**ENDLAGER**

Lager für radioaktive Abfälle oder bestrahlte Brennelemente, die in Deutschland tief unter der Erdoberfläche eingerichtet werden sollen. Ziel ist eine für sehr lange Zeiträume zuverlässige Isolierung von der Biosphäre.

ESK

Entsorgungskommission, ein Gremium unabhängiger Fachleute, das das Bundesumweltministerium zu Fragen der Entsorgung radioaktiver Stoffe berät.

ESK-LEITLINIEN ZUR STILLLEGUNG

Empfehlungen der Entsorgungskommission, die die technische Anforderungen sowie Abläufe für die Stilllegung von nach §§ 7, 6 und 9 AtG genehmigten kerntechnischen Anlagen festlegen. Die Leitlinien berücksichtigen internationale Regelwerke und ergänzen aus technischer Sicht die Anforderungen und Vorgaben des Stilllegungsleitfadens.

EXPOSITION

Gesamtheit aller biologischen, chemischen oder physikalischen Umwelteinflüsse, denen Objekte oder Lebewesen, insbesondere Menschen, ausgesetzt sind. Im Zusammenhang mit ionisierender Strahlung spricht man von Strahlenexposition, die je nach betroffener Körperregion als Ganzkörperexposition, bei der der gesamte Körper Strahlung ausgesetzt ist, oder als Teilkörperexposition, bei der nur bestimmte Organe, Gewebe oder Körperbereiche betroffen sind, unterschieden wird. Zudem differenziert man zwischen äußerer Strahlenexposition, bei der die Strahlungsquelle außerhalb des Körpers liegt, und innerer Strahlenexposition, die auftritt, wenn Radionuklide durch Inhalation, Ingestion oder offene Wunden in den Körper gelangen und dort Strahlung abgeben.

F**FORSCHUNGSREAKTOREN**

Kernreaktoren in Forschungszentren, Universitäten, Kliniken oder in der Industrie. Sie dienen zu Zwecken in der Forschung, der Ausbildung sowie im medizinischen und industriellen Bereich. Mit Forschungsreaktoren wird im Unterschied zu Leistungsreaktoren kein Strom erzeugt.

FREIGABE

Verwaltungsakt, der die Entlassung radioaktiver Stoffe sowie beweglicher Gegenstände, von Gebäuden, Bodenflächen, Anlagen oder Anlagenteilen, die geringfügig aktiviert oder mit radioaktiven Stoffen kontaminiert sind und die aus Tätigkeiten aus dem Regelungsbereich des AtG und Rechtsverordnungen stammen, als nicht radioaktiv bewirkt. Der Freigabe liegt ein Dosiskriterium von 10 µSv pro Jahr zugrunde.

G**GAMMASTRAHLUNG**

Elektromagnetische Strahlung, die bei bestimmten radioaktiven Zerfällen auftritt. Gammastrahlung hat eine vergleichbar große Reichweite und ist daher die Hauptgefahrenquelle bei einer äußeren Bestrahlung, während bei einer Aufnahme in den Körper (z. B. durch Einatmen) Alphastrahlung schädlicher ist.

GENEHMIGUNGSVERFAHREN

Verfahren zur Erteilung einer Genehmigung oder Teilgenehmigung gemäß der Atomrechtlichen Verfahrensordnung (Atvfv).

H**HALBWERTSZEIT**

Die Halbwertszeit ist die Zeitspanne, nach der im Durchschnitt die Hälfte aller Atomkerne eines Radionuklides zerfallen ist, wodurch sich auch die Aktivität halbiert. Die Halbwertszeit ist spezifisch für jedes Radionuklid und kann sich bei unterschiedlichen Radionukliden um viele Größenordnungen unterscheiden.

K**KERNBRENNSTOFF**

Spaltbares Material, dessen Energieinhalt in einem Kernreaktor in Wärme bzw. elektrische Energie umgesetzt wird.

KERNENERGIE

Technologie zur großtechnischen Umwandlung von Energie aus der Kernspaltung in elektrischen Strom.

KERNKRAFTWERK

Wärmeleistung zur Gewinnung elektrischer Energie mit einem Kernreaktor.

KERNREAKTOR

Anlage, bei der eine kontrollierte Kernspaltung in einer Kettenreaktion kontinuierlich abläuft.

KERNSPALTUNG

Prozess, bei dem Atomkerne durch Neutronen unter Freisetzung von Energie in mehrere Einzelteile (kleinere Atomkerne und bspw. Neutronen) zerlegt werden.

KERNTECHNISCHE ANLAGE

Sammelbegriff für Kernkraftwerke, Forschungsreaktoren und Anlagen der Ver- und Entsorgung.

KETTENREAKTION

Sich selbst fortsetzender Vorgang, bei dem die während der Spaltung von Atomkernen entstandenen Neutronen ihrerseits weitere Atomkerne spalten.

KONDITIONIERUNG

Endlagerechte Aufbereitung und Verpackung radioaktiver Abfälle und bestrahlter Brennelemente.

KONTAMINATION

Anhaftung radioaktiver Stoffe.

KONTROLLBEREICH

Räumlich abgetrennter und gekennzeichnet Bereich des Strahlenschutzes, in dem die jährliche Dosis für eine Person mehr als 6 mSv betragen kann. Der Zutritt ist nur unter Beachtung besonderer Strahlenschutzvorschriften zulässig. Der Kontrollbereich ist in der Regel von einem Überwachungsbereich umschlossen.

KRITIKALITÄT/KRITISCH

Man spricht davon, dass ein Kernreaktor kritisch ist, wenn genauso viele Neutronen bei der Kernspaltung entstehen, wie für die weitere Aufrechterhaltung der Kettenreaktion notwendig sind. Als Kritikalität wird demnach der normale Betriebszustand eines Kernreaktors bezeichnet.

KTA-REGELN

Sicherheitstechnische Regeln für die Errichtung und den Betrieb kerntechnischer Anlagen. Diese werden vom Kerntechnischen Ausschuss (KTA) erstellt, einem Gremium unabhängiger Fachleute.

KÜHLMITTEL

Medium in Kernreaktoren, das die Wärme, die bei der Kettenreaktion entsteht, aus dem Reaktorkern abführt. Dieser Wärmeinhalt wird dann zur Stromerzeugung genutzt. Übliche Kühlmittel sind leichtes und schweres Wasser, Kohlendioxid, Helium und flüssiges Natrium.

L**LEICHTWASSERREAKTOR**

Sammelbezeichnung für Druckwasser- und Siedewasserreaktoren, die normales Wasser zur Moderierung von schnellen Neutronen und zur Wärmeabfuhr benutzen.

LEISTUNGSREAKTOR

Kernreaktor, der der Stromerzeugung dient. Im Vergleich zu Forschungsreaktoren haben Leistungsreaktoren eine deutlich höhere Leistung.

M

MW

Megawatt, Maß für die Leistung von Kernreaktoren. Bei Kernkraftwerken wird die elektrische Leistung (MW_e , Megawatt elektrisch) angegeben, bei Kernreaktoren ohne Stromerzeugung die thermische Leistung (MW_{th} , Megawatt thermisch).

N

NACHBETRIEB

Übergangsphase zwischen der endgültigen Abschaltung eines Kernkraftwerkes und der Erteilung der Stilllegungsgenehmigung. Die vorbereitenden Arbeiten zum Abbau müssen von der noch geltenden Betriebsgenehmigung abgedeckt sein.

NEUTRON

Elektrisch neutrales Teilchen, das Teil eines Atomkerns ist und bei der Kernspaltung frei wird. Neutronen werden zur Spaltung von Atomkernen in einem Kernreaktor benötigt.

NEUTRONENSTRAHLUNG

Teilchenstrahlung, die aus Neutronen besteht. Sie wird insbesondere bei der Kernspaltung freigesetzt und benötigt aufgrund ihres hohen Durchdringungsvermögens einen stärkeren Einsatz von Abschirmmaterialien.

P

PROTOTYPREAKTOR

Kernreaktor, mit dem eine bestimmte Bauweise erstmalig realisiert wurde. Prototypreaktoren sind kleiner als typische Leistungsreaktoren.

PUFFERLAGER

Dient der temporären Lagerung von radioaktiven oder nicht radioaktiven Stoffen auf geeigneten Flächen oder in geeigneten Räumen im Rahmen ihrer Bearbeitung (z. B. Dekontamination, Zerlegung) bzw. Behandlung (z. B. Konditionierung) oder der Transportbereitstellung.

R

RADIOAKTIVER STOFF

Stoff, der mindestens ein Radionuklid enthält und dessen Aktivität im Sinne des Atomgesetzes nicht außer Acht gelassen werden kann.

RADIONUKLID

Bestimmtes Nuklid, das spontan ohne äußere Einwirkung unter Strahlungsemission zerfällt.

REAKTORDRUCKBEHÄLTER

Dickwandiger Metallkörper (ca. 20 cm), der den Reaktorkern und sonstige kernnahe Einbauten umschließt.

REAKTORKERN

Teil eines Kernreaktors, der den Kernbrennstoff enthält und in dem die kontrollierte Kettenreaktion abläuft.

RESTSTOFFE

Beim Abbau der kerntechnischen Anlage anfallende, noch nicht konditionierte Stoffe. Ein Teil hiervon wird nach Sortierung als (radioaktiver) Abfall entsorgt, der Großteil kann verwertet werden.

RSK

Reaktor-Sicherheitskommission, ein Gremium unabhängiger Expertinnen und Experten, das das Bundesumweltministerium zu Fragen der Sicherheit kerntechnischer Anlagen berät.

S

SEKUNDÄRABFALL

Sekundärabfälle entstehen bei der Bearbeitung von Anlagenteilen, wenn diese im Zuge des Abbaus zur Anwendung bestimmter Verfahren das Einbringen zusätzlicher Stoffe erfordern, die anschließend zu entsorgen sind, z. B. Chemikalien zur Dekontamination.

SICHERER EINSCHLUSS

Stilllegungsstrategie, bei der eine kerntechnische Anlage vor dem Abbau eine gewisse Zeit (typischerweise 30 Jahre) sicher eingeschlossen wird, um eine geringere Strahlenexposition des Abbaupersonals zu erreichen bzw. die Menge radioaktiver Abfälle zu reduzieren.

SICHERHEITSBEHÄLTER

Eine dickwandige (einige Zentimeter) metallische und gasdichte Umhüllung um einen Kernreaktor sowie die Kreislauf- und Nebenanlagen, die als zusätzliche technische Barriere das Austreten radioaktiver Stoffe verhindert und einen Schutz gegen Einwirkungen von außen bietet.

SIEVERT

Einheit der Äquivalentdosis und der effektiven Dosis. (1 Sv = 1.000 mSv). Die durchschnittliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenexposition für Menschen in Deutschland beträgt etwa 2,1 mSv pro Jahr.

SPERRBEREICH

Räumlich abgetrennter Strahlenschutzbereich innerhalb eines Kontrollbereiches, in dem Personen eine Dosis von 3 mSv innerhalb einer Stunde erhalten können. Ein Betreten ist nur unter bestimmten Umständen für kurze Zeit zulässig.

SSK

Strahlenschutzkommission, ein Gremium unabhängiger Fachleute, das das Bundesumweltministerium berät.

STILLEGUNG

Alle Maßnahmen, die nach Erteilung der Stilllegungsgenehmigung für eine kerntechnische Anlage durchgeführt werden, bis eine behördliche, d. h. atomrechtliche, Überwachung nicht mehr nötig ist.

STILLEGUNGSGENEHMIGUNG

Die Stilllegungsgenehmigung bezeichnet die behördliche Erlaubnis für die Stilllegung einer kerntechnischen Anlage und ist nach § 7 Abs. 3 AtG ein Erfordernis. Die geplanten Maßnahmen des Stilllegungsvorhabens müssen gemäß § 19b Abs. 1 AtVfV in der ersten Stilllegungsgenehmigung beschrieben sein und, sofern dies notwendig ist, werden Stilllegungsmaßnahmen in weiteren Teilgenehmigungen konkretisiert.

STILLEGUNGSKONZEPT

Beschreibung der konzeptionellen Vorgehensweise in der Stilllegung. Es wird bereits im Zuge des Genehmigungsverfahrens zur Errichtung und zum Betrieb einer Anlage erstellt. Während des Anlagenbetriebs wird das Konzept kontinuierlich angepasst, sodass zum Zeitpunkt des ersten Stilllegungsantrags eine vollständige Planung gemäß § 19b Abs. 1 AtVfV vorgelegt werden kann.

STILLEGUNGSLFITFADEN

Der „Leitfaden zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss und zum Abbau von Anlagen oder Anlagenteilen nach § 7 AtG“ fasst die wesentlichen technischen und rechtlichen Anforderungen

sowie Abläufe für die Stilllegung, den sicheren Einschluss und den Abbau kerntechnischer Anlagen zusammen. Basierend auf den Erfahrungen früherer Stilllegungsverfahren und durch Berücksichtigung internationaler Standards, ermöglicht der Leitfaden durch Vorschläge für eine zweckmäßige Vorgehensweise die Förderung eines gemeinsamen Vorgehens zwischen Bund und Ländern, wobei anlagenspezifische Besonderheiten berücksichtigt werden.

STILLEGUNGSPLANUNG

Fasst alle vorgesehenen Maßnahmen zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss oder zum Abbau einer Anlage bzw. ihrer Teile detailliert zusammen. Sie dient dazu, den gesamten Abbauprozess transparent darzustellen und sicherzustellen, dass die geplanten Schritte in einer logischen und zielgerichteten Reihenfolge erfolgen. Besonders wichtig ist, dass bereits die beantragten Maßnahmen so konzipiert sind, dass sie spätere Stilllegungsaktivitäten nicht behindern.

STRALENEXPOSITION

[Siehe Exposition.](#)

STRALENSCHUTZ

Maßnahmen zum Schutz des Menschen und der Umwelt vor der schädigenden Wirkung ionisierender Strahlung, die u. a. von radioaktiven Stoffen ausgeht.

STRALENSCHUTZVERANTWORTLICHE

Person, die gem. § 69 StrlSchG die strahlenschutzrechtliche Gesamtverantwortung für eine Einrichtung trägt. Dies kann eine natürliche oder eine juristische Person sein. Bei juristischen Personen oder rechtsfähigen Personengesellschaften übernimmt die vertretungsberechtigte Person diese Aufgabe.

STRALENSCHUTZBEAUFTRAGTE (SSB)

Eine gem. § 70 StrlSchG vom Strahlenschutzverantwortlichen schriftlich bestellte, fachkundige Person, die betriebliche Maßnahmen zum Schutz vor ionisierender Strahlung leitet, überwacht und durchführt. Sie darf bei der Ausübung seiner Aufgaben nicht behindert oder benachteiligt werden.

SWR

Siedewasserreaktor (wassergekühlt).

**ÜBERWACHUNGSBEREICH**

Räumlich abgetrennter Strahlenschutzbereich im KKW, in dem Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als

1 mSv ausgesetzt werden können. Oft ist das gesamte Betriebsgelände eines KKW als Überwachungsbereich ausgezeichnet.

UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG

Durch die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) wird festgestellt und in einem Bericht beschrieben, wie sich ein Projekt auf Menschen (einschließlich der menschlichen Gesundheit), Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt, Boden, Wasser, Luft, Klima, Landschaft sowie Kulturgüter auswirken kann. Zu dem Bericht können die Öffentlichkeit, fachlich betroffene Behörden, aber auch Bürger und Behörden in eventuell betroffenen Nachbarstaaten Stellung nehmen. Die für die Zulassung zuständige Behörde hat die Aufgabe, die Informationen und Stellungnahmen zu bewerten und die Ergebnisse der UVP bei ihrer Entscheidung über die Zulassung eines Projektes zu berücksichtigen. Die UVP ist im Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) geregelt.

URANANREICHERUNG

Verschiedene Verfahren (z. B. Gaszentrifuge, Diffusion), mit denen der Anteil des spaltbaren Isotops Uran-235 im Natururan erhöht wird. Natürlich vorkommendes Uran besteht zu mehr als 99 % aus Uran-238 und enthält nur etwa 0,7 % Uran-235. Die meisten Kernreaktoren brauchen jedoch Kernbrennstoff mit einem Anteil von ca. 3 – 5 % Uran-235, damit die für eine Kettenreaktion nötige Kritikalität erreicht werden kann.

W

WIEDERAUFARBEITUNG

Anwendung physikalischer und chemischer Verfahren, um aus bestrahlten, d. h. im Kernreaktor eingesetzten Brennelementen, noch ungenutztes spaltbares Material zurückzugewinnen und die hochradioaktiven Abfälle zu trennen. Der hochradioaktive „in Kernkraftwerken nicht spaltbare“ Anteil wird anschließend für die Endlagerung konditioniert.

Z

ZWISCHENLAGER

Lager (zentral bzw. am Standort der Anlage, die den Abfall verursacht), in dem Rohabfälle bis zur Konditionierung sowie bereits konditionierte Abfallgebinde für eine Übergangszeit so lange zwischengelagert werden, bis sie in ein geeignetes Endlager verbracht werden können.



**Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH**

Schwertnergasse 1
50667 Köln
Telefon +49 221 2068-0

Forschungszentrum
Boltzmannstraße 14
85748 Garching b. München
Telefon +49 89 32004-0

Kurfürstendamm 200
10719 Berlin
Telefon +49 30 88589-0

Theodor-Heuss-Straße 4
38122 Braunschweig
Telefon +49 531 8012-0



→ www.grs.de

ISBN 978-3-949088-40-7