Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH

# Entsorgung abgebrannter Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland

Ergebnisse der Länderumfrage zum Stichtag 31.12.2017

Arbeitsbericht

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH

# Entsorgung abgebrannter Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland

## Ergebnisse der Länderumfrage zum Stichtag 31.12.2017

O. Bartos
K. Hummelsheim
W. Mester
E. Peters

Juni 2018
Auftrags-Nr.: 856420

**Anmerkung:**

Dieser Bericht ist von der GRS im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz im Rahmen des Vorhabens 4717E03380 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

## Kurzfassung

Der Arbeitsbericht enthält die wesentlichen Ergebnisse der Länderumfrage, Stand 31. Dezember 2017, zur Entsorgung abgebrannter Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland. Die Auswertung befasst sich mit der aktuellen Brennelementbelegung in den Kernreaktoren sowie mit den bisherigen und zukünftig von den Betreibern geplanten Entsorgungsmaßnahmen. Außerdem werden in dem Bericht die Angaben zum Verwertungsnachweis für abgetrenntes Plutonium sowie zum Verbleibsnachweis für Uran und radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung geprüft.

Die Entsorgungsvorsorge der Leistungsreaktoren gemäß § 9a Abs. 1a-d AtG stützt sich aufgrund der Beendigung der Transporte zur Wiederaufarbeitung zum 30. Juni 2005 ausschließlich auf die Zwischenlagerung an den Kernkraftwerksstandorten (Abklinglager, Standortlager).

Zum 31. Dezember 2017 hat Block B des Kernkraftwerks Gundremmingen seinen Leistungsbetrieb endgültig beendet. Für die Bilanzierung der Entsorgungsvorsorge wird der Reaktor noch zu den in Betrieb befindlichen Anlagen gezählt, da 2017 das letzte Betriebsjahr war.

Die Ergebnisse der Umfrage lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der bisherige Gesamtanfall an abgebrannten Brennelementen aus deutschen Leistungsreaktoren erhöht sich im Jahr 2017 um 216 Mg SM auf 15.374 Mg SM. Durch Angaben der Betreiber zu eingelagerten Schwermetallmassen mit Berücksichtigung des Abbrands in den Standortzwischenlagern reduziert sich die Gesamtmasse der angefallenen Brennelementmassen im Umfragejahr 2017 im Vergleich zum Vorjahr um 27 Mg SM. Dies ist damit begründet, dass sich die Betreiberangaben auf die Schwermetallmasse abgebrannter und nicht wie bisher auf frische Brennelemente beziehen. Damit nehmen die im Zwischenlager eingestellten Massen um rund 5 % ab.
- Die Zahl der angefallenen Brennelemente stieg im Umfragezeitraum um 605 Stück auf 55.507 Brennelemente.
- Insgesamt rund 5.393 Mg SM an abgebrannten Brennelementen aus Leistungsreaktoren wurden nach Frankreich und 854 Mg SM nach Großbritannien zur Wiederaufarbeitung geliefert.

- Für alle zwölf Standorte, an denen Kernkraftwerke in Betrieb sind oder bis März 2011 in Betrieb waren, wurde eine Erweiterung der Lagerkapazität am Standort in Form von Behältertrockenlagern genehmigt und in Betrieb genommen. Die 342 abgebrannten Brennelemente aus Obrigheim wurden in das Zwischenlager Neckarwestheim verbracht. Der Antrag zur Änderung der Aufbewahrungsgenehmigung des Standortzwischenlagers Neckarwestheim wurde am 10. Dezember 2013 gestellt. Die Änderungsgenehmigung zur Einlagerung der 15 Behälter aus Obrigheim wurde im August 2016 erteilt. Die entsprechende Transportgenehmigung wurde am 27. März 2014 beantragt und im Mai 2017 erteilt. Die Behälter wurden in drei Transporten zu je 5 Behältern per Schiff zum Standort Neckarwestheim überführt. Der letzte Transport wurde am 19. Dezember 2017 abgeschlossen.

- Von den 2011 außer Betrieb genommenen Reaktoren haben mittlerweile alle eine Stilllegungsgenehmigung beantragt. Im Vorjahr sind die Blöcke Biblis A und Philippsburg 1 als erste und im Erfassungsjahr ist die Anlage Brunsbüttel kernbrennstofffrei geworden. Die Brennelemente wurden dort vollständig in Behälter verpackt und in die Standortzwischenlager eingestellt. Im Kernkraftwerk Krümmel befinden sich derzeit noch 78 Einzelbrennstäbe sowie ein bestrahltes, noch zu demontierendes Brennelement mit 76 Brennstäben im Lagerbecken. Diese 154 Sonderbrennstäbe mit 0,35 Mg SM sollen in einen speziellen Köcher eingelagert und dann in einen CASTOR eingebracht werden.

- Alle neu anfallenden Brennelemente werden an den Standorten nass zwischengelagert. Nach entsprechender Abklingzeit werden die Brennelemente in Transport- und Lagerbehälter verpackt und in die Standortzwischenlager eingestellt. Im Erfassungsjahr sind 90 neue Behälter eingelagert worden. Insgesamt stehen 545 Behälter in den Standortzwischenlagern. Damit befinden sich wie seit dem vorherigen Umfragejahr mehr Brennelemente in der Trockenlagerung (5.670 Mg SM) als in der Nasslagerung (3.030 Mg SM).

- Der letzte Einsatz von 241 kg Pu-fiss aus der Wiederaufarbeitung in Form von 12 frischen MOX-Brennelementen ist im Frühjahr 2017 in Emsland erfolgt. Somit ist die Verwertung der gesamten abgetrennten Plutoniummenge aus der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente mit dem MOX-Einsatz in Emsland vollständig abgeschlossen.

- Der Bestand an durch Wiederaufarbeitung gewonnenem Uran betrug zum Stichtag 31. Dezember 2017 rund 26.849 kg und blieb damit gegenüber dem Vorjahr unverändert. Das Uran lagert in der Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield.

- Aufgrund der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente im Ausland sind nach derzeitigen Schätzungen radioaktive Abfälle in folgendem Umfang zurückzunehmen:

- 129 Großbehälter (einschließlich eines durch Substitutionsvereinbarung hinzugekommenen Behälters) mit verglastem, hochradioaktivem Abfall aus La Hague (CSD-V-Kokillen) und Sellafield. Davon sind die aus La Hague (Frankreich) zurückzunehmenden 108 Behälter mit hochradioaktivem verglasten Abfall seit 2011 vollständig zurückgeführt und in Gorleben gelagert. Die Rückführung der verbleibenden bis zu 21 Behälter aus Sellafield erfolgt nicht vor 2019.

- 5 Großbehälter mit verglasten radioaktiven Reststoffen aus der Betriebswasseraufbereitung in La Hague (CSD-B-Kokillen); diese MAW-Glasabfälle ersetzen die in der Vergangenheit geplanten bituminierten Gebinde. Eine Rückführung erfolgt nicht vor 2019.

- 152 Großbehälter mit hochdruckkompaktierten MAW-Abfällen (Brennelementhülsen und Technologieabfälle, SWR-Wasserkästen) aus La Hague (CSD-C-Kokillen). Eine Rückführung erfolgt nicht vor 2030.

Die Gesamtzahl der zurückzuführenden Großbehälter liegt damit bei 286. Die Zahl hat sich gegenüber dem Vorjahr nicht verändert.

## Inhaltsverzeichnis

**Kurzfassung** ..... **1**

**Inhaltsverzeichnis** ..... **4**

**1 Einleitung** ..... **1**

1.1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise ..... 1

1.2 Genauigkeit und Unsicherheiten der Mengenangaben ..... 2

1.3 Veränderungen im Vergleich zur Umfrage 2016 ..... 6

**2 Entsorgung abgebrannter Brennelemente** ..... **7**

2.1 Kernreaktoren und Brennelementanfall ..... 7

2.1.1 Anlagenübersicht ..... 7

2.1.2 Brennelementanfall ..... 9

2.2 Entsorgungswege für Brennelemente aus Leistungsreaktoren ..... 13

2.2.1 Nasslagerkapazität und derzeitige Belegung ..... 14

2.2.2 Standortnahe Zwischenlagerung ..... 16

2.2.3 Externe Zwischenlagerung ..... 20

2.2.4 Ausländische Anlagen ..... 24

2.2.5 Wiederaufarbeitung im Inland ..... 29

2.3 Bisher durchgeführte externe Entsorgungsschritte ..... 29

2.4 Brennelemente aus Forschungsreaktoren ..... 31

**3 Verwertung des abgetrennten Plutoniums** ..... **32**

3.1 Angegebene Plutoniummengen ..... 32

3.2 Zeitliche Entwicklung der Plutoniumrezyklierung ..... 36

3.3 Bewertung ..... 42

3.4 Sonstige Plutoniumbestände und deren Verbleib ..... 42

**4 Verbleib des abgetrennten Urans** ..... **44**

4.1 Angegebene Uranmengen ..... 44

4.2 Bewertung ..... 44

**5 Verbleib der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung im Ausland ..... 46**

5.1 Mengen ..... 46

5.2 Vorsorgemaßnahmen für den Verbleib der Abfälle ..... 49

5.3 Bewertung ..... 51

5.4 Sonstige Abfälle aus der Kernbrennstoffentsorgung und deren Verbleib ..... 53

**6 Literatur ..... 55**

**ANHANG A**

Besonderheiten bei der Prüfung und Auswertung der Daten der Länderumfrage vom 31. Dezember 2017 zur Entsorgungssituation der Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland ..... 61

**ANHANG B**

Brennelementtypen ..... 66

**ANHANG C**

Verbleib abgebrannter Brennelemente ..... 68

**ANHANG D**

Erläuterung der Zusammenhänge zwischen den im Rahmen der Länderumfrage erfassten Parametern zur Plutoniumrückführung ..... 75

**Tabellenverzeichnis ..... 77**

**Bilderverzeichnis ..... 79**

**Abkürzungsverzeichnis ..... 80**

# 1 Einleitung

## 1.1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Im Rahmen des Vorhabens 4717E03380 wurde die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU beauftragt, die jährlich zum Stichtag 31. Dezember vom BMU durchgeführten Länderumfragen zur Entsorgungssituation der Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland auszuwerten.

Bis einschließlich 2001 lag der Schwerpunkt der Umfragen klar auf der Entsorgungsvorsorge für die abgebrannten Brennelemente. Die Auswertung wurde von der GRS jeweils in einem ausführlichen Bericht dokumentiert. Für die Umfrage zum Stichtag 31. Dezember 2002 wurden signifikante Änderungen an den Formularen vorgenommen. Auf einige Informationen zur Entsorgung der Brennelemente wurde dabei verzichtet. Dafür kamen Angaben zum Verwertungsnachweis von abgetrenntem Plutonium und Uran aus der Wiederaufarbeitung hinzu.

Für die Entsorgungsvorsorge zum Stichtag 31. Dezember 2017 wird das Kernkraftwerk Gundremmingen Block B als in Betrieb befindlich bilanziert, da die Abschaltung erst am 31. Dezember 2017 erfolgt ist.

Die Umfrageerhebung erfolgte 2017 wie bereits im Vorjahr nur noch in Form von vier Abfragetabellen. Weggefallen ist die Abfrage nach Fertigungsverträgen für MOX, da die MOX-Fertigung für die letzten Brennelemente bereits 2015 abgeschlossen war.

Die von den Länderbehörden ausgefüllten Fragebögen lagen der GRS am 02. Mai 2018 vollständig vor. Die darin enthaltenen Angaben über die getroffenen Entsorgungsvorsorgemaßnahmen wurden vertragsgemäß zunächst hinsichtlich der Plausibilität der vorgelegten Informationen geprüft. Die Angaben über die von den Betreibern getroffenen Planungen und Maßnahmen zur Verwertung des Plutoniums und des Verbleibs des Urans aus der Wiederaufarbeitung wurden ebenfalls hinsichtlich ihrer Plausibilität bewertet. Für die aus der Wiederaufarbeitung resultierenden radioaktiven Abfälle wurde geprüft, ob deren sicherer Verbleib hinreichend nachgewiesen ist. Zusätzliche Angaben bezüglich der Entsorgung von Forschungsreaktoren lagen vollständig am 31. August 2018 vor.

Die wichtigsten Ergebnisse zur Entsorgung der abgebrannten Brennelemente, zur Verwertung des Plutoniums und zum Verbleib des Urans aus der Wiederaufarbeitung werden in diesem Bericht zusammengefasst.

Die Auswertung beschränkt sich auf Leistungsreaktoren zur kommerziellen Stromerzeugung. Die stillgelegten Reaktoren KRB A Gundremmingen, KWL Lingen, KWW Würgassen, KMK Mülheim-Kärlich, KKS Stade, KWO Obrigheim, KKR Rheinsberg und KGR 1-5 Greifswald werden als Leistungsreaktoren ebenfalls mit betrachtet. Ebenso werden die Daten der Reaktoren KKB Brunsbüttel, KKK Krümmel, KKU Unterweser, GKN I Neckarwestheim, KKI 1 Isar, KKP 1 Philippsburg, KWB A und B Biblis, sowie KKG Grafenrheinfeld, die aufgrund des Dreizehnten Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes keine Genehmigung mehr zum Leistungsbetrieb besitzen und sich im Nachbetrieb bzw. in Stilllegung und Rückbau befinden, ausgewertet.

Bezüglich der Entsorgung von Versuchs- und Prototypreaktoren, die sämtlich bereits stillgelegt sind, wird auf /HUM 08/ und vergleichbare frühere Berichte verwiesen. Zu dieser Gruppe gehören die Anlagen VAK (Kahl), MZFR, KNK II (beide Karlsruhe), AVR (Jülich), HDR (Großwelzheim), KKN (Niederaichbach) und THTR-300 (Hamm-Uentrop).

## 1.2 Genauigkeit und Unsicherheiten der Mengenangaben

Generell gilt, dass die im Bericht enthaltenen Angaben zur Anzahl der Brennelemente die gesicherten und belastbaren Zahlen darstellen. Da für viele Fragestellungen häufig jedoch auch die dazugehörige Schwermetallmasse von Interesse ist, werden in diesem Bericht auch dazu Angaben gemacht. Hierzu ist folgendes anzumerken:

- Die Angaben zur Schwermetallmasse basieren auf unterschiedlichen Quellen. Zum Teil wurden von den Bundesländern im Nachtrag zu den Formularen der Länderumfrage Daten zur Verfügung gestellt, die direkt von den Elektrizitätsversorgungsunternehmen stammen. Diese Daten betreffen in der Regel die zur Wiederaufarbeitung nach Frankreich bzw. Großbritannien abtransportierten Mengen und beziehen sich auf die Schwermetallmasse nach Bestrahlung.
- Im Umfragebogen 1 (Tabelle 1, Zeile 10) werden die in den Standortlagern eingestellten Schwermetallmassen abgefragt. Für alle zwölf Standortlager liegen Angaben zu eingelagerten Schwermetallmengen vor. Die Bezugsgröße basiert auf dem bestrahlten Zustand der Brennelemente und nicht auf dem Wert für frische Brennelemente. Dies reduziert die

Massenangabe für die Brennelemente im Standortlager der Umfragejahre 2017 und 2016 um etwa 5 % zum Jahr 2015.

- Ein anderer Teil der Daten wurde rechnerisch ermittelt. Hierzu wurde die Zahl der Brennelemente mit einer geschätzten Schwermetallmasse pro Brennelement multipliziert. Hierbei handelt es sich um Massenangaben für unbestrahlte Brennelemente, die aus der Länderumfrage 2001 übernommen wurden („Frischgewicht"). Es ist dabei zu berücksichtigen, dass die Schwermetallmasse pro Brennelement einerseits im Laufe der Jahre Veränderungen unterworfen war und andererseits infolge des Abbrands abnimmt. Die errechneten Schwermetallmassen können daher nur als Richtwerte dienen und sind nicht exakt identisch mit den tatsächlich in den abgebrannten Brennelementen befindlichen Mengen. Die für die Berechnung verwendeten Multiplikatoren sind in Anhang B, Tabelle B-1 zusammengestellt.

*<u>Beispiel 1:</u> Beim KKW Brunsbüttel wurde bei der Umfrage 2000 eine Schwermetallmasse je Brennelement von 174 kg angegeben; im Jahr davor wurde ein Wert von 172 kg angegeben. Bei einem kumulierten Gesamtanfall von rund 1660 Brennelementen entspricht dies einer Veränderung von rund 3,3 Mg SM allein aufgrund dieses Massenunterschieds.*

*<u>Beispiel 2:</u> Beim KKW Greifswald wurde aufgrund der Angaben in den Formblättern für das Kraftwerk bis 2000 als Schwermetallmasse je Brennelement der Wert 120 kg verwendet. In den Formblättern des Zwischenlagers für abgebrannte Brennstoffe (ZAB) werden jedoch 115 kg genannt. Der Unterschied entspricht aufgrund der hohen Zahl von Brennelementen einer Masse von etwa 39 Mg SM!*

Die Unsicherheit der in diesem Bericht angegebenen Massen wird auf mehrere Prozent geschätzt. Grundlage für diese Schätzung ist die Tatsache, dass die Schwankungen der BE-Gewichte eines bestimmten Reaktors sowohl während der letzten 15 Jahre als auch für ein bestimmtes Umfragejahr innerhalb der verwendeten BE-Designs in diesem Bereich liegen. Einen weiteren Anhaltspunkt liefern die Daten für die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK). Vergleicht man die mittels BE-Anzahl und BE-Gewicht errechneten Werte mit den direkt von der WAK ermittelten Werten zum Schwermetallgewicht, so liegen die Unterschiede sogar bei etwa 5 %. Abweichungen zu Mengenangaben anderer Quellen in dieser Größenordnung können somit durchaus auftreten.

In der Vergangenheit wurden in den Berichten Schwermetallmassen häufig mit einer Stelle hinter dem Komma (d. h. in Zehntel Tonnen) angegeben. Damit wurde z. T. eine Genauigkeit suggeriert, die nicht unbedingt den tatsächlichen Gegebenheiten entspricht. Im vorliegenden

Bericht wurden für Berechnungen weiterhin die ungerundeten Basisdaten verwendet, für die Darstellung der Ergebnisse aber wurden die Massenangaben in der Regel auf ganze Tonnen gerundet. Dies führt in Tabelle 3 zu geringfügigen Abweichungen bei Quersummenbildungen.

Ein Sonderfall sind die Angaben zu den stillgelegten Reaktoren Rheinsberg und Greifswald. Hier ist neben der Abbrandproblematik und den Schwankungen der Schwermetallmassen auch noch zu berücksichtigen, dass es konstruktive Unterschiede zwischen den Arbeitskassetten und Regelkassetten (ca. 11 % einer Reaktorbeladung) gibt, die sich in einer um rund 4 % geringeren Schwermetallmasse der Regelkassetten äußern. Das Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern hat zu diesen Reaktoren Daten zur Verfügung gestellt, die auf der Basis einer mittleren Schwermetallmasse für abgebrannte Brennstoffkassetten ermittelt wurden.

Eine Unterscheidung nach abgebrannten und teilabgebrannten Brennelementen wird seit der Umfrage 2002 nicht mehr vorgenommen. Stattdessen wird beim Bestand grundsätzlich nur die Gesamtzahl bestrahlter Brennelemente genannt, die in diesem Bericht daher als abgebrannt interpretiert und bezeichnet werden. In den folgenden Darstellungen und Tabellen wird generell auf die Unterscheidung zwischen abgebrannten und teilabgebrannten Brennelementen verzichtet.

Die Verwertung des bei der Wiederaufarbeitung abgetrennten Plutoniums wird durch den Nachweis, dass das gesamte, im Bereich eines EVU angefallene und noch anfallende Plutonium verwertet werden kann (auch innerhalb eines Konzerns), durch die Erfassungstabellen 3 und 4 aufgezeigt. Der Bestand wird jeweils einem Kraftwerk zugeordnet und setzt sich zusammen aus den Plutoniummengen, die beim Wiederaufarbeiter abgetrennt vorliegen und die bereits zu MOX-Brennelementen verarbeitetet worden sind. Die Angaben können teilweise zerfallskorrigiert sein, das heißt, die Menge an abgetrenntem spaltbarem Plutonium kann sich durch den radioaktiven Zerfall verringern, wenn eine ausreichende Zeitspanne zwischen Abtrennung, Lagerung und MOX-Herstellung liegt.

Die Plutoniummengen zum geplanten MOX-Einsatz basieren auf Fertigungsreservierungen und somit begrenzten Reservierungskontingenten an Plutonium, die von den tatsächlich verarbeiteten Mengen bei der MOX-Herstellung abweichen können.

**HINWEIS:**

**Die in diesem Bericht enthaltenen Daten zur Anzahl der Brennelemente basieren auf Betreiberangaben. Diese Daten sind exakt und stellen somit belastbare Daten dar. Alle Angaben zu Schwermetallmassen wurden, soweit nicht anders vermerkt, als Produkt aus Brennelementanzahl und mittlerem Brennelementgewicht (letzte Spalte in Tabelle B-1) errechnet. Die berechneten Schwermetallmassen sind somit, wie oben dargelegt, mit Unsicherheiten im Prozentbereich behaftet.**

## 1.3 Veränderungen im Vergleich zur Umfrage 2016

Gegenüber der Umfrage des Jahres 2016 lassen sich folgende Veränderungen feststellen:

| | **Gesamtbilanz** | **Umfrage 2017** | **Vergleichswert Vorjahr 2016** | **Zu-/Abnahme** |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Installierte Leistung | 11.357 MWe | 11.357 MWe | 0 MWe |
| 2 | Bisheriger Gesamtanfall bestrahlter BE aus Leistungsreaktoren | 55.507BE<br>15.374 Mg SM | 54.902BE<br>15.158 Mg SM | + 605 BE<br>+ 216 Mg SM |
| 3 | Geschätzter Restanfall bis Stilllegung aller KKW (incl. Restkern) | 1.443 Mg SM | 1.686 Mg SM | - 243 Mg SM |
| 4 | Geschätzter Gesamtanfall bis Stilllegung aller KKW (Summe Zeile 2-3) | 16.817 Mg SM | 16.844 Mg SM | - 27 Mg SM |
| 5 | Davon für Direkte Endlagerung vorgesehen | 10.144 Mg SM | 10.171 Mg SM | - 27 Mg SM |
| 6 | Gesamtbelegung der Cores in den noch in Betrieb befindlichen Anlagen | 898 Mg SM | 898 Mg SM | 0 Mg SM |
| 7 | Gesamtbelegung der Cores in abgeschalteten Anlagen | 0 Mg SM | 52 Mg SM | - 52 Mg SM |
| 8 | Gesamtbelegung der Lagerbecken in den Reaktorgebäuden incl. Nachbarblöcke | 3.030 Mg SM | 3.456 Mg SM | - 426 Mg SM |
| 9 | Freie Lagerpositionen im Reaktorgebäude (bei 8 in Betrieb befindlichen Reaktoren) | 1.130 Pos. | 915 Pos. | 215 Pos. |
| 10 | Lagerbestand in den Standortzwischenlagern (in Klammern: Genehmigte Gesamtkapazität) | 4.995 Mg SM<br>545 Behälter<br>(14.025 Mg SM[3)]) | 4.301 Mg SM<br>455 Behälter<br>(14.125 Mg SM) | + 694 Mg SM<br>+ 90 Behälter<br>(-100 Mg SM) |
| 11 | Bestand abgebrannter BE aus Leistungsreaktoren in Gorleben/Ahaus | 37 Mg SM TBL-G<br>55 Mg SM TBL-A | 37 Mg SM TBL-G<br>55 Mg SM TBL-A | 0 Mg SM<br>0 Mg SM |
| 12 | Lagerbestand im ZLN | 583 Mg SM | 583 Mg SM | 0 Mg SM |
| 13 | Transporte zur Cogema | 5.393 Mg SM[1)] | 5.393 Mg SM[1)] | 0 Mg SM |
| 14 | Transporte zur BNFL | 854 Mg SM[1)] | 854 Mg SM[1)] | 0 Mg SM |
| 15 | Transporte ins sonstige Ausland | 341 Mg SM | 341 Mg SM | 0 Mg SM |
| 16 | Sonstiger Verbleib (WAK)[2)] | 85 Mg SM | 85 Mg SM | 0 Mg SM |
| 17 | Bisherige Abgabe bestrahlter BE aus Leistungsreaktoren (Summe Zeilen 10-16) | 12.343 Mg SM | 11.649 Mg SM | + 694 Mg SM |
| 18 | Bereits im Reaktor eingesetztes Plutonium (Anteil an der Gesamtmenge) | 100 % | 99,4 % | + 0,6 % |
| 19 | Noch zu verwertendes Plutonium (Pu-fiss, Bestand plus Restanfall) | 0 kg | 241 kg | - 241 kg |
| 20 | Bestand Uran aus der Wiederaufarbeitung | 27 Mg | 27 Mg | 0 Mg |
| 21 | Erwartete Behälter mit verglastem HAW aus der Wiederaufarbeitung (Substitution unterstellt) | 129 Behälter | 129 Behälter | 0 Behälter |
| 22 | Bereits rückgeführte Behälter mit verglastem HAW aus der Wiederaufarbeitung | 108 Behälter | 108 Behälter | 0 Behälter |
| 23 | Erwartete sonstige Behälter aus der Wiederaufarbeitung (Substitution unterstellt) | 152 CSD-C<br>5 CSD-B | 152 CSD-C<br>5 CSD-B | 0 CSD-C<br>0 CSD-B |

[1)] Unter Berücksichtigung der Angaben der Länderbehörden aufgrund des BMU-Schreibens vom 26. Juli 2005

[2)] Gemäß BMU-Schreiben vom 27. Juli 2009

[3)] inkl. Brunsbüttel

# 2 Entsorgung abgebrannter Brennelemente

## 2.1 Kernreaktoren und Brennelementanfall

### 2.1.1 Anlagenübersicht

Im Rahmen des als Folge des Reaktorunfalls in Fukushima verabschiedeten Dreizehnten Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes /ATG 17/ wurden die 2002 festgelegten und bis 2010 geltenden Höchstgrenzen für die Stromerzeugung wieder in Kraft gesetzt. Gleichzeitig wurden für die einzelnen Reaktoren definierte Zeitpunkte festgelegt, bis zu denen die Berechtigung zum Leistungsbetrieb für die Stromerzeugung erlischt, und zwar

- für das Kernkraftwerk Grafenrheinfeld der 31. Dezember 2015,
- für das Kernkraftwerk Gundremmingen B der 31. Dezember 2017,
- für das Kernkraftwerk Philippsburg 2 der 31. Dezember 2019,
- für die Kernkraftwerke Grohnde, Gundremmingen C und Brokdorf der 31. Dezember 2021,
- für die Kernkraftwerke Isar 2, Emsland und Neckarwestheim 2 der 31. Dezember 2022,
- für die Kernkraftwerke Biblis A, Neckarwestheim I, Biblis B, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 und Krümmel der Zeitpunkt des Inkrafttretens des Gesetzes (die Reaktoren bleiben somit dauerhaft abgeschaltet).

Die Anlagen Biblis Block A und B, Philippsburg 1, Neckarwestheim I und Isar 1 befinden sich mittlerweile in der Stilllegung.

Gemäß Tabelle 1 lag die installierte Reaktorleistung für die verbleibenden acht Anlagen am 31. Dezember 2017 bei 11.357 MWe brutto und ist damit unverändert zum selben Zeitpunkt des Vorjahres. Insgesamt betrug die Brutto-Stromerzeugung im Berichtszeitraum 654,8 Mrd. kWh mit einem Kernenergieanteil von 76,3 Mrd. kWh (11,7 %). Verglichen mit 2016, wo die Brutto-Stromerzeugung noch bei 650,6 Mrd. kWh lag mit einem Kernenergieanteil von 84,6 Mrd. kWh (13 %) /ATW 18/, ist zwar die Gesamtstromerzeugung im Berichtszeitraum um etwa 4,2 Mrd. kWh gestiegen, der Kernenergieanteil ist aber um etwa 8 Mrd. kWh gefallen.

**Tabelle 1:** Kernkraftwerke mit Leistungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland

| Bundesland | Typ | Anlage | Standort | Inbetrieb-nahme | Stillle-gung | MWe brutto |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Schleswig-Holstein | DWR | KBR | Brokdorf | 1986 | | 1.480 |
| Niedersachsen | DWR | KWG | Grohnde | 1985 | | 1.430 |
| Niedersachsen | DWR | KKE | Emsland | 1988 | | 1.406 |
| Baden-Württemberg | DWR | KKP 2 | Philippsburg | 1985 | | 1.468 |
| Baden-Württemberg | DWR | GKN II | Neckarwestheim | 1989 | | 1.400 |
| Bayern | SWR | KRB B | Gundremmingen | 1984 | | 1.344 |
| Bayern | SWR | KRB C | Gundremmingen | 1985 | | 1.344 |
| Bayern | DWR | KKI 2 | Isar | 1988 | | 1.485 |
| **Summe am 31. Dezember 2017:** | | | | | | **11.357** |
| **Stillgelegte Anlagen und Anlagen in der Nachbetriebsphase:** | | | | | | |
| Niedersachsen | SWR | KWL | Lingen | 1968 | 1977 | 252 |
| Bayern | SWR | KRB A | Gundremmingen | 1966 | 1977 | 250 |
| Brandenburg | DWR | KKR | Rheinsberg | 1966 | 1990 | 70 |
| Mecklenburg-Vorpommern | DWR | KGR 1 | Greifswald | 1974 | 1990 | 440 |
| Mecklenburg-Vorpommern | DWR | KGR 2 | Greifswald | 1975 | 1990 | 440 |
| Mecklenburg-Vorpommern | DWR | KGR 3 | Greifswald | 1978 | 1990 | 440 |
| Mecklenburg-Vorpommern | DWR | KGR 4 | Greifswald | 1979 | 1990 | 440 |
| Mecklenburg-Vorpommern | DWR | KGR 5 | Greifswald | 1989 | 1990 | 440 |
| Nordrhein-Westfalen | SWR | KWW | Würgassen | 1975 | 1995 | 670 |
| Rheinland-Pfalz | DWR | KMK | Mülheim-Kärlich | 1986 | 1988 | 1.302 |
| Niedersachsen | DWR | KKS | Stade | 1972 | 2003 | 672 |
| Baden-Württemberg | DWR | KWO | Obrigheim | 1969 | 2005 | 357 |
| Schleswig-Holstein | SWR | KKB | Brunsbüttel | 1976 | 2011 | 806 |
| Schleswig-Holstein | SWR | KKK | Krümmel | 1983 | 2011 | 1.402 |
| Niedersachsen | DWR | KKU | Unterweser | 1979 | 2011 | 1.410 |
| Hessen | DWR | KWB A | Biblis | 1975 | 2011 | 1.225 |
| Hessen | DWR | KWB B | Biblis | 1977 | 2011 | 1.300 |
| Baden-Württemberg | SWR | KKP 1 | Philippsburg | 1980 | 2011 | 926 |
| Baden-Württemberg | DWR | GKN I | Neckarwestheim | 1976 | 2011 | 840 |
| Bayern | SWR | KKI 1 | Isar | 1979 | 2011 | 912 |
| Bayern | DWR | KKG | Grafenrheinfeld | 1982 | 2015 | 1.345 |

In Bild 1 ist in blau die zeitliche Entwicklung der installierten und in hellblau (ab 2018) die erwartete elektrische Kernkraftwerksleistung durch Inbetriebnahme, Leistungserhöhung und Stilllegung dargestellt.

In /HUM 09/ findet sich eine Übersicht über die im Rahmen früherer Länderumfragen erfassten Versuchs- oder Prototypreaktoren. Die sieben Anlagen AVR, THTR-300, MZFR, KNK II, VAK, HDR und KKN sind alle stillgelegt.

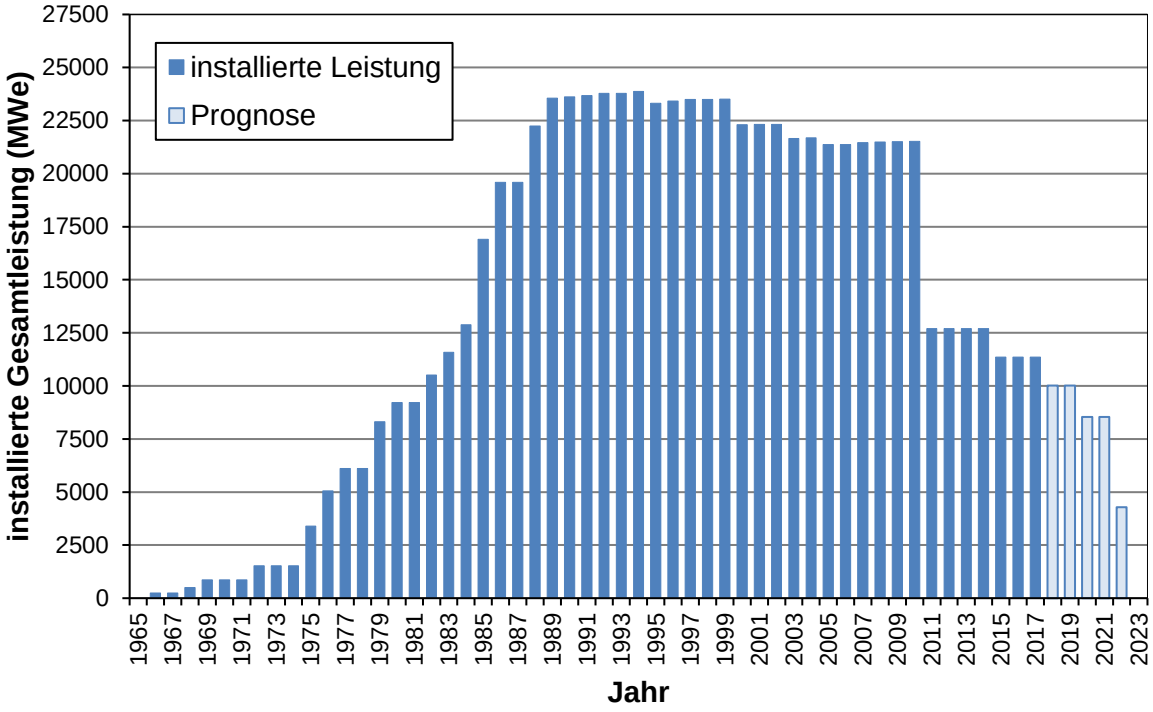



**Bild 1:** Zeitliche Entwicklung der installierten elektrischen Kernkraftwerksleistung

### 2.1.2 Brennelementanfall

Die bis zum 31. Dezember 2017 angefallenen Brennelemente und entsprechende Schwermetallmassen aus dem Betrieb der Leistungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland sind in Tabelle 2 dargestellt. Die angegebenen Mengen setzen sich zusammen aus den Lagerbecken- und Standortzwischenlagerbelegungen und den Verbringungen in zentrale Zwischenlager, zur Wiederaufarbeitung und zum sonstigen Verbleib im Ausland. Bei den noch in Betrieb befindlichen Reaktoren sowie des zum 31. Dezember 2017 abgeschalteten Reaktors Gundremmingen B wurden die im Kern befindlichen Brennelemente nicht als abgebrannt eingestuft und sind daher in der genannten Gesamtsumme des bisherigen Anfalls nicht enthalten.

Gemäß Tabelle 2 sind aus dem Betrieb von Leistungsreaktoren bisher 15.374 Mg SM in abgebrannten Brennelementen (davon 893 Mg aus den stillgelegten Kernkraftwerken Rheinsberg und Greifswald) angefallen. Die gemäß BMU-Schreiben vom 26. Juli 2005 von den Länderbehörden erbetenen Angaben zu den abtransportierten Mengen (in Mg SM) wurden berücksichtigt. Die Beiträge zum Gesamtanfall für die Nasslager und extern entsorgte Mengen wurden aus BE-Anzahl und mittlerem BE-Gewicht (letzte Spalte in Tabelle B-1) errech-

net, die in den Standortzwischenlagern untergebrachten Brennelemente sind durch Massenangaben von Betreibern ergänzt.

**Tabelle 2:** Bis 31. Dezember 2017 angefallene Brennelementmengen und Schwermetallmassen aus Leistungsreaktoren
(bei in Betrieb befindlichen Anlagen ohne, bei stillgelegten Anlagen mit Kern)

| Typ | Anlage | Standort | Menge | |
|---|---|---|---|---|
| | | | BE | Mg SM |
| DWR | KBR | Brokdorf | 1.428 | 755 |
| DWR | KWG | Grohnde | 1.572 | 834 |
| DWR | KKE | Emsland | 1.452 | 758 |
| DWR | KKP 2 | Philippsburg 2 | 1.512 | 799 |
| DWR | GKN II | Neckarwestheim II | 1.306 | 674 |
| SWR | KRB B | Gundremmingen B | 4.804 | 826 |
| SWR | KRB C | Gundremmingen C | 4.693 | 803 |
| DWR | KKI 2 | Isar 2 | 1.376 | 718 |
| **Summe:** | | | **18.143** | **6.167** |
| **Stillgelegte Anlagen:** | | | | |
| SWR | KWL | Lingen | 586 | 66 |
| SWR | KRB A | Gundremmingen A | 1.028 | 125 |
| DWR | KKR | Rheinsberg | 918 | 106 |
| DWR | KGR 1-5 | Greifswald 1-5 | 6.813[1)] | 787 |
| SWR | KWW | Würgassen | 1.989 | 346 |
| DWR | KMK | Mülheim-Kärlich | 209[2)] | 96 |
| DWR | KKS | Stade | 1.517[3)] | 539[3)] |
| DWR | KWO | Obrigheim | 1.235 | 352 |
| SWR | KKB | Brunsbüttel | 2.664 | 457 |
| SWR | KKK | Krümmel | 3.929 | 680 |
| DWR | KKU | Unterweser | 1.717 | 904 |
| DWR | KWBA | Biblis A | 1.673 | 876 |
| DWR | KWBB | Biblis B | 1.827 | 961 |
| SWR | KKP 1 | Philippsburg 1 | 3.632 | 631 |
| DWR | GKN I | Neckarwestheim I | 1.830 | 648 |
| SWR | KKI 1 | Isar 1 | 4.072 | 717 |
| DWR | KKG | Grafenrheinfeld | 1.725 | 916 |
| **Summe:** | | | **37.364** | **9.207** |
| **Summe total:** | | | **55.507** | **15.374** |

[1)] einschließlich 235 BE (27 Mg), die nach Paks/Ungarn transportiert wurden
[2)] Zusätzlich 1 Dummy aus abgereichertem Uran mit 2 defekten Brennstäben
[3)] Angabe E.ON vom 03. September 2008

Bild 2 zeigt den zeitlichen Verlauf des über alle Reaktoren summierten kumulierten Brennelementanfalls in blau für Anlagen in Betrieb und in dunkelbraun für stillgelegte Anlagen. In hellblau und hellbraun ist jeweils der prognostizierte Schwermetallanfall gezeigt. In der Grafik ist im Jahr 2016 eine geringfügige Abnahme der Schwermetallmenge im Vergleich zum Jahr

2015 zu erkennen. Dies ist ausschließlich auf die angewandte Rechenmethodik zurückzuführen und bedeutet keine Reduzierung der Anzahl der Brennelemente. Der Effekt lässt sich wie folgt erklären: Die der Grafik zugrunde liegenden Mengen basieren auf den jährlichen Datenerhebungen, bei denen die Anzahl der Brennelemente an den jeweiligen Lagerorten abgefragt wird. Die Schwermetallmengen werden daraus durch Multiplikation mit der mittleren Brennelementmasse (unbestrahlt) errechnet. Wie im Vorjahr lieferten die Länderbehörden genaue Mengenangaben für die in den Standortzwischenlagern befindlichen abgebrannten Brennelemente, die bezüglich des Schwermetallgehaltes niedriger sind als die bis dahin berechneten Mengen. Dies führt zu dem in der Grafik zu beobachtenden scheinbaren Rückgang der kumulierten Schwermetallmenge.

Der individuelle, bis zum 31. Dezember 2017 kumulierte Schwermetallmassenanfall in Leistungsreaktoren ist in Bild 3 für jedes Kernkraftwerk dargestellt.

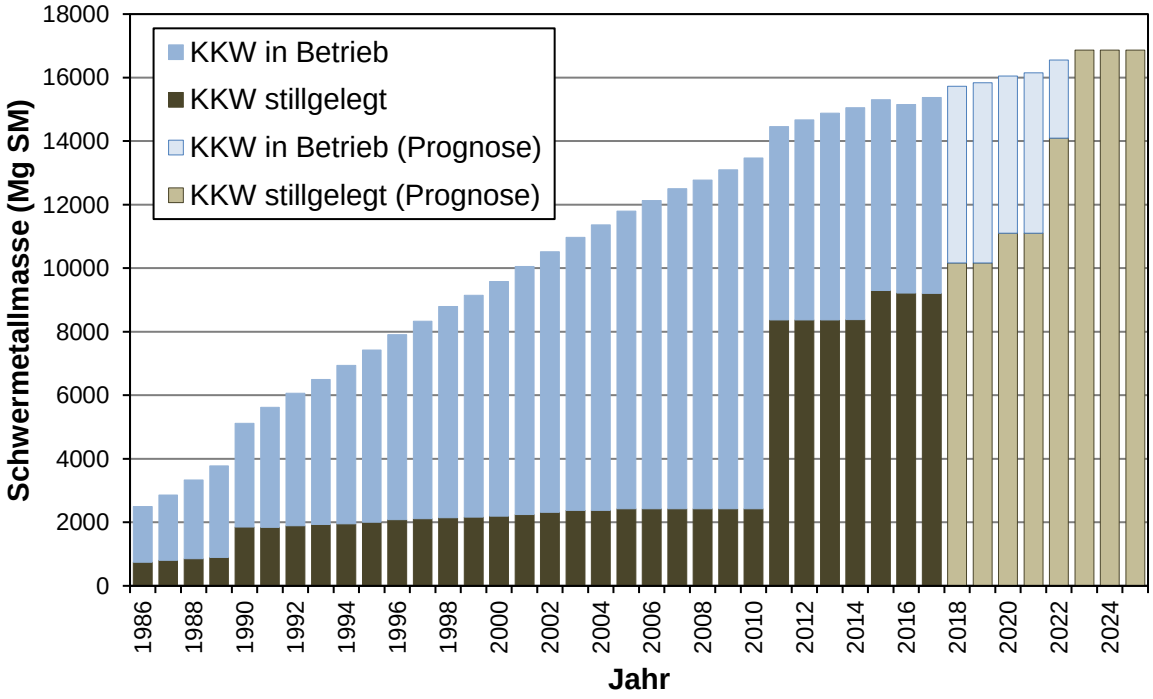



**Bild 2:** Zeitlicher Verlauf des kumulierten Schwermetallmassenanfalls

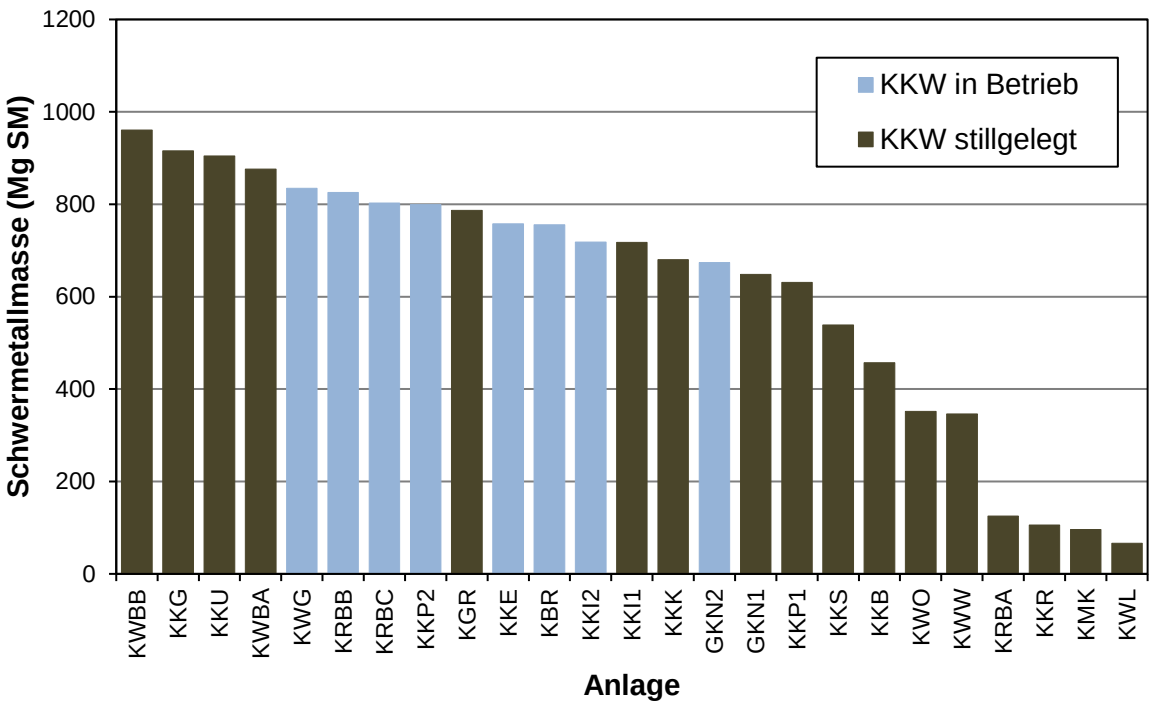



**Bild 3:** Bis 31. Dezember 2017 kumulierte Schwermetallmassenanfall pro Reaktor

Den höchsten Brennelementanfall insgesamt weisen Biblis B mit rund 961 Mg SM, Grafenrheinfeld mit 916 Mg SM und Unterweser mit 904 Mg SM auf.

Aus den Umfragedaten geht hervor, dass im Jahr 2017 insgesamt 605 Brennelemente entsprechend einer Schwermetallmasse von 246 Mg aus den acht in Betrieb befindlichen Anlagen entladen wurden. Bis zu deren Stilllegung werden durch Nachladungen und Entladungen der letzten Cores noch schätzungsweise 1.443 Mg SM an abgebrannten Brennelementen anfallen. Die Mengen für die einzelnen Reaktoren sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

In den Cores der noch in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke befinden sich 2.726 Brennelemente (898 Mg SM). Davon sind 784 Brennelemente (136 Mg SM) im Core der zum 31. Dezember 2017 außer Betrieb genommenen Anlage KRB B. Insgesamt wird von einem kumulierten Gesamtanfall aller Kernkraftwerke bis zu ihrer Stilllegung von **16.817 Mg SM** ausgegangen. Diese Menge setzt sich wie folgt zusammen:

- **6.673 Mg SM** wurden bisher zur Wiederaufarbeitung (Cogema, BNFL, UdSSR, Eurochemic, WAK), zur dauerhaften Lagerung (CLAB/Schweden) oder zur Weiterverwendung (Paks/ Ungarn) abtransportiert.
- **10.144 Mg SM** verbleiben für die direkte Endlagerung in Deutschland.

**Tabelle 3:** Zukünftig zu erwartender Brennelementanfall aus den noch in Betrieb befindlichen Leistungsreaktoren

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Standort** | **Bestand im Core** | | **Geschätzter Restanfall bis Stilllegung (ohne Kern)** | | **Geschätzter Restanfall bis Stilllegung (mit Kern)** | |
| | **BE** | **Mg SM** | **BE** | **Mg SM** | **BE** | **Mg SM[1)]** |
| Brokdorf | 193 | 104 | 124 | 67 | 317 | 171 |
| Grohnde | 193 | 105 | 156 | 85 | 349 | 190 |
| Emsland | 193 | 104 | 192 | 103 | 385 | 207 |
| Philippsburg 2 | 193 | 104 | 52 | 28 | 245 | 133 |
| Neckarwestheim II | 193 | 104 | 152 | 82 | 345 | 186 |
| Gundremmingen B | 784 | 136 | 0 | 0 | 784 | 136 |
| Gundremmingen C | 784 | 136 | 516 | 90 | 1.300 | 226 |
| Isar 2 | 193 | 103 | 172 | 92 | 365 | 195 |
| **Summe** | **2.726** | **898** | **1.364** | **547** | **4.090** | **1.443** |
| **Stillgelegte Anlagen** | **0** | **0** | | | | |

[1)] Summe aus ungerundetem Core-Bestand und Restanfall, Ergebnisse gerundet.

Vergleicht man diese Zahlen mit den entsprechenden Ergebnissen der Vorjahre, so ergibt sich das in Tabelle 4 dargestellte Bild. Der geringere Prognosewert für den Gesamtbrennelementanfall im Vergleich zu den Vorjahren resultiert daraus, dass bei den Anlagen im Umfragejahr 2017 von den Betreibern neue Schwermetallmengen für die Standortzwischenlager mitgeteilt wurden, die sich auf die Masse bestrahlter Brennelemente beziehen und daher niedriger sind als die bisherigen Brennelementmassen, die aus BE-Frischgewichten (siehe hierzu auch die Erläuterung zu Bild 2) berechneten wurden.

**Tabelle 4:** Bereits vorhandener und künftiger Brennelementanfall in Mg SM

| **Umfragejahr** | **2017** | **2016** | **2015** | **2014** | **2013** | **2012** | **2011** | **2010** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bisheriger Anfall[*)]** | 15.374 | 15.158 | 15.305 | 15.050 | 14.889 | 14.684 | 14.466 | 13.472 |
| **Künftiger Anfall** (jeweils Prognose) | 1.443 | 1.686 | 1.792 | 2.091 | 2.308 | 2.516 | 2.756 | 3.404 |
| **Summe** (jeweils Prognose) | **16.817** | **16.844** | **17.097** | **17.141** | **17.197** | **17.200** | **17.222** | **16.876** |

## 2.2 Entsorgungswege für Brennelemente aus Leistungsreaktoren

Die Entsorgung abgebrannter Brennelemente wird in Deutschland auf der Grundlage der geltenden gesetzlichen Regelung durch Zwischenlagerung und spätere direkte Endlagerung

in tiefen geologischen Formationen erfolgen. Für die vorübergehende Aufbewahrung der Brennelemente wurden Zwischenlager an den Standorten der Kernkraftwerke nach § 6 AtG beantragt und genehmigt. Zwölf Standortzwischenlager waren zum Stichtag 31. Dezember 2017 in Betrieb. In der Vergangenheit wurden auch einige Brennelemente zu externen Zwischenlagern in Gorleben und Ahaus verbracht.

Durch das „Gesetz zur Neuordnung der Verantwortung in der kerntechnischen Entsorgung“ fällt die Durchführung und Finanzierung der Zwischen- und Endlagerung in die Verantwortung des Bundes. Ab 2019 werden die Zwischenlager von der Gesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ) übernommen.

Bis zum 30. Juni 2005 konnten abgebrannte Brennelemente auch noch zur Wiederaufarbeitung ins Ausland gebracht werden. Es bestanden entsprechende Verträge mit Cogema (Frankreich) und BNFL (Großbritannien).

Auf die von den KKW-Betreibern ergriffenen Entsorgungsvorsorgemaßnahmen und die Bestände an abgebrannten Brennelementen wird im Folgenden näher eingegangen.

### 2.2.1 Nasslagerkapazität und derzeitige Belegung

Die interne Nasslagerkapazität der in Betrieb befindlichen Leistungsreaktoren ist in Tabelle 5 dargestellt. Die Zahlen geben die Angaben der Betreiber wieder. Gründe für die Nichtnutzbarkeit von BE-Positionen (Spalte 4) wurden nicht recherchiert.

Aufgrund der gelieferten Angaben konnte zum 31. Dezember 2017 für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke eine genehmigte Nasslagerkapazität von 11.100 BE-Positionen (entsprechend etwa 3.636 Mg SM) festgestellt werden. Die Kapazität ist gegenüber dem Vorjahr gleich geblieben. Da in den Lagerbecken jeweils Platz für eine Core-Entladung freizuhalten ist und einige Lagerpositionen aus anderen Gründen nicht nutzbar waren, war eine Lagerkapazität von 8.143 BE-Positionen prinzipiell verfügbar, von denen 1.130 BE-Positionen nicht belegt waren. Ein Vergleich mit den Daten des Vorjahres ergibt eine Zunahme der freien Kapazität um 215 BE-Positionen bei in Betrieb befindlichen Anlagen. Insgesamt (stillgelegte und in Betrieb befindliche Reaktoren) nahm die Belegung der Nasslager im Vergleich zum Vorjahr um 1.319 Positionen ab, die Gesamtasse der in den Nasslagerbecken befindlichen Brennelemente nahm um 426 Mg SM ab. Die Nasslagerauslastung bei den in Betrieb befindlichen Reaktoren lag zwischen 69 % (KKI 2) und 93 % (KBR).

**Tabelle 5:** Interne Nasslagerkapazität der in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke mit Leistungsreaktoren (BE-Positionen); ohne Standortzwischenlager

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Anlage** | **Genehmigt** | **Freizuhalten für Core** | **Nicht nutzbar** | **Verfügbare Kapazität[1)]** | **Freie Positionen** | **Mittlere Entlademenge pro Jahr[2)]** |
| Brokdorf | 768 | 193 | 46 | 529 | 37 | 48 |
| Grohnde | 768 | 193 | 24 | 551 | 85 | 48 |
| Emsland | 768 | 193 | 6 | 569 | 144 | 52 |
| Philippsburg 2 | 780 | 193 | 12 | 575 | 48 | 48 |
| Neckarwestheim II | 786 | 193 | 85 | 508[3)] | 99 | 44 |
| Gundremmingen B | 3.219 | 784 | 21 | 2.414 | 110 | 148 |
| Gundremmingen C | 3.219 | 784 | 21 | 2.414 | 340 | 148 |
| Isar 2 | 792 | 193 | 16 | 583 | 183 | 48 |
| **Summe** | **11.100** | **2.726** | **231** | **8.143** | **1.130** | **584** |

[1)] Spalte 2 – Spalte 3 – Spalte 4
[2)] Annahme gemäß Bundestags-Drucksache 14/3893, S. 68-70 /BUN 00/
[3)] Weitere BE-Positionen sind möglich, wenn Lagerplätze nicht durch GKN I-BE belegt werden.

Die am 31. Dezember 2017 bestehende Belegung aller Cores und Brennelementnasslager in den Reaktorgebäuden ist in Tabelle 6 zusammengestellt. In Obrigheim lagerten 342 Brennelemente im externen Nasslager, die im Jahr 2017 in Behälter verpackt und in das Standortzwischenlager Neckarwestheim transportiert wurden. 784 Brennelemente des zum Stichtag außer Betrieb genommen KKW Gundremmingen B befinden sich noch im Core des Reaktors.

Entsprechend Tabelle 6 befanden sich

- 898 Mg SM im Core und
- 3.030 Mg SM in den Nasslagerbecken.

Darin enthalten ist 1 Mg SM oder drei Brennelemente aus Neckarwestheim I, die im Lagerbecken des Nachbarblocks Neckarwestheim II aufbewahrt werden.

**Tabelle 6:** Belegung der Cores und interner Brennelementnasslager mit abgebrannten Brennelementen

| Typ | Anlage | Standort | Corebelegung | | Nasslagerbelegung | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (Anzahl BE) | (Mg SM) | (Anzahl BE) | (Mg SM) |
| DWR | KBR | Brokdorf | 193 | 104 | 492 | 266 |
| DWR | KWG | Grohnde | 193 | 105 | 466 | 254 |
| DWR | KKE | Emsland | 193 | 104 | 425 | 229 |
| DWR | KKP 2 | Philippsburg 2 | 193 | 104 | 527 | 285 |
| DWR | GKN II | Neckarwestheim II | 193 | 104 | 409 | 220 |
| SWR | KRB B | Gundremmingen B | 784 | 136 | 2.220 | 386 |
| SWR | KRB C | Gundremmingen C | 784 | 136 | 2.074 | 361 |
| DWR | KKI 2 | Isar 2 | 193 | 103 | 400 | 214 |
| **2011 stillgelegt:** | | | | | | |
| SWR | KKB | Brunsbüttel | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SWR | KKK | Krümmel | 0 | 0 | 1[1)] | 0,4[1)] |
| DWR | KKU | Unterweser | 0 | 0 | 52 | 28 |
| DWR | KWB A | Biblis A | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DWR | KWB B | Biblis B | 0 | 0 | 190 | 102 |
| SWR | KKP 1 | Philippsburg 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DWR | GKN I | Neckarwestheim I | 0 | 0 | 176[2)] | 63[2)] |
| SWR | KKI 1 | Isar 1 | 0 | 0 | 1.734 | 302 |
| **Nach 2011 stillgelegt:** | | | | | | |
| DWR | KKG | Grafenrheinfeld | 0 | 0 | 597 | 321 |
| **Summe** | | | **2.726** | **898** | **9.763** | **3.030** |

[1)]154 Sonderbrennstäbe im Lagerbecken, davon wurde 1 BE in 76 Einzelbrennstäben aufgelöst

[2)]davon 173 BE (62 Mg SM) im Lagerbecken Block 1 und 3 BE (1 Mg SM) im Lagerbecken Block 2

### 2.2.2 Standortnahe Zwischenlagerung

Um Brennelementtransporte nach Gorleben und Ahaus zu vermeiden, wurden nach Inkrafttreten der Zehnten Novelle des Atomgesetzes im April 2002 an 12 Standorten Behältertrockenlager genehmigt. Alle sind in Betrieb. Tabelle 7 zeigt eine Übersicht der genehmigten Zwischenlagerkapazitäten /BFE 18a/.

**Tabelle 7:** Genehmigte und in Betrieb befindliche Standortlager für abgebrannte Brennelemente aus Leistungsreaktoren, Stand 31. Dezember 2017

| Standort | Art der Aufbewahrung | Antrags- bzw. Genehmigungswerte | Vorgesehene Behälterbauarten und Zahl der Stellplätze |
|---|---|---|---|
| Lingen/ Emsland | *Standortlager* für BE aus Emsland (Lagerzeit max. 40 Jahre) | 1.250 Mg (6,9x$10^{19}$ Bq) Antrag Dez. 98, genehmigt 06. November 2002 4,7 MW Wärmeleistung | Genehmigt: CASTOR® V/19; später evtl. weitere, neue Entwicklungen 125 Stellplätze |
| Brokdorf | *Standortlager* für BE aus Brokdorf (Lagerzeit max. 40 Jahre) | 1.000 Mg (5,5x$10^{19}$ Bq) Antrag Dez. 99, genehmigt 28. November 2003 3,75 MW Wärmeleistung | Genehmigt: CASTOR® V/19; beantragt: TN 24 E und CASTOR® HAW28M 100 Stellplätze |
| Unterweser | *Standortlager* für BE aus Unterweser (Lagerzeit max. 40 Jahre) | 800 Mg (4,4x$10^{19}$ Bq) Antrag Dez. 99, genehmigt 22. September 2003 3 MW Wärmeleistung | Genehmigt: CASTOR® V/19; beantragt: TN 24 E 80 Stellplätze |
| Grohnde | *Standortlager* für BE aus Grohnde (Lagerzeit max. 40 Jahre) | 1.000 Mg (5,5x$10^{19}$ Bq) Antrag Dez. 99, genehmigt 20. Dezember 2002 3,75 MW Wärmeleistung | Genehmigt: CASTOR® V/19; beantragt: TN 24 E 100 Stellplätze |
| Krümmel | *Standortlager* für BE aus Krümmel (Lagerzeit max. 40 Jahre) | 775 Mg (0,96x$10^{20}$ Bq) Antrag Nov. 99, genehmigt 19. Dezember 2003 3 MW Wärmeleistung | Genehmigt: CASTOR® V/52 80 Stellplätze |
| Brunsbüttel | *Standortlager* für BE aus Brunsbüttel (Lagerzeit max. 40 Jahre) | 450 Mg (6x$10^{19}$ Bq) Antrag Nov. 99, genehmigt 28. November 2003[1)] 2 MW Wärmeleistung | Genehmigt: CASTOR® V/52 80 Stellplätze |
| Biblis | *Standortlager* für BE aus Biblis und Mülheim-Kärlich (Lagerzeit max. 40 Jahre) | 1.400 Mg (8,5x$10^{19}$ Bq) Antrag Dez. 99, genehmigt 22. September 2003 5,3 MW Wärmeleistung | Genehmigt: CASTOR® V/19; beantragt: CASTOR® HAW28M 135 Stellplätze |
| Neckarwestheim | *Standortlager* für BE aus Neckarwestheim (Lagerzeit max. 40 Jahre) | 1.600 Mg (8,3x$10^{19}$ Bq) Antrag Dez. 99, genehmigt 22. September 2003 3,5 MW Wärmeleistung | Genehmigt: CASTOR® V/19 und TN 24 E 151 Stellplätze |
| Philippsburg | *Standortlager* für BE aus KKP 1 u. 2 (Lagerzeit max. 40 Jahre) | 1.600 Mg (1,5x$10^{20}$ Bq) Antrag Dez. 99, genehmigt 19. Dezember 2003 6 MW Wärmeleistung | Genehmigt: CASTOR® V/19 und CASTOR® V/52; beantragt: TN 24 E und CASTOR® HAW28M 152 Stellplätze |
| Grafenrheinfeld | *Standortlager* für BE aus Grafenrheinfeld (Lagerzeit max. 40 Jahre) | 800 Mg (5x$10^{19}$ Bq) Antrag Feb. 00, genehmigt 12. Februar 2003 3,5 MW Wärmeleistung | Genehmigt: CASTOR® V/19; beantragt: TN 24 E 88 Stellplätze |
| Isar | *Standortlager* für BE aus Isar 1 u. 2 (Lagerzeit max. 40 Jahre) | 1.500 Mg (1,5x$10^{20}$ Bq) Antrag Feb. 00, genehmigt 22. September 2003 6 MW Wärmeleistung | Genehmigt: CASTOR® V/19, CASTOR® V/52 und TN 24 E; beantragt: CASTOR® HAW28M 152 Stellplätze |
| Gundremmingen | *Standortlager* für BE aus KRB B+C (Lagerzeit max. 40 Jahre) | 1.850 Mg (2,4x$10^{20}$ Bq) Antrag Feb. 00, genehmigt 19. Dezember 2003 6 MW Wärmeleistung | Genehmigt: CASTOR® V/52 192 Stellplätze |

[1)] Mit der Entscheidung des Bundesverwaltungsgerichts vom 16. Januar 2015, die Beschwerde des Bundesamtes für Strahlenschutz auf Zulassung der Revision im Verfahren um das Standortzwischenlager Brunsbüttel abzulehnen, ist das Urteil des Oberverwaltungsgerichts (OVG) Schleswig, durch das die Aufbewahrungsgenehmigung für das Zwischenlager Brunsbüttel aufgehoben wird, rechtskräftig. Vgl. Ausführungen auf S. 59. Vattenfall hat am 16. November 2015 eine Neugenehmigung beantragt. /LSH 16/, /BFS 15/

Der im Jahr 2003 vom BfS erteilte Genehmigungsbescheid für das Standortlager in Brunsbüttel ist laut Urteil des Oberverwaltungsgerichts (OVG) Schleswig und dessen Bestätigung durch das Bundesverwaltungsgericht rechtswidrig. Als Konsequenz hat die zuständige Genehmigungsbehörde eine atomrechtliche Anordnung getroffen, mit der die Lagerung der Kernbrennstoffe im Zwischenlager bis Anfang 2018 geduldet wird. Bis dahin muss die Betreiberin des Zwischenlagers für eine genehmigte Aufbewahrung Sorge tragen. Der ursprünglich beantragte und genehmigte Umfang der Wärmeleistung, Schwermetallmasse, Gesamtaktivität und die Anzahl der benötigten Stellplätze werden im neuen Antrag unterschritten. /LSH 16/, /BFS 15/

Ein weiteres Trockenlager wurde am 22. April 2005 für den Standort Obrigheim beantragt. Der Antrag wurde jedoch am 13. Februar 2018 seitens des Betreibers zurückgezogen, da alle dortigen Brennelemente bis zum 19. Dezember 2017 in das Standortzwischenlager Neckarwestheim transportiert wurden. Im Nasslager des Notstandsgebäude am Standort Obrigheim befanden sich nach Einstellung des Leistungsbetriebs insgesamt 342 abgebrannte Brennelemente (100 Mg SM). Der Antrag zur Änderung der Aufbewahrungsgenehmigung des Standortzwischenlagers Neckarwestheim zur Aufnahme der KWO-Brennelemente wurde am 10. Dezember 2013 gestellt, wobei das Konzept zur Aufbewahrung der bestrahlten Brennelemente in insgesamt 15 Behältern der Bauart CASTOR® 440/84 mvK beibehalten werden sollte. Eine entsprechende Änderungsgenehmigung für das Zwischenlager in Neckarwestheim zur Aufbewahrung der KWO-Brennelemente wurde am 9. August 2016 erteilt. Der Transport erfolgte per Binnenschiff über den Neckar und für die Be- und Entladung des Schiffs wurde mit einem Transportfahrzeug das sog. „Roll-on/Roll-off-Verfahren“ durchgeführt. Ein entsprechender Antrag für die Transportgenehmigung wurde am 27. März 2014 beim BfS gestellt und im Mai 2017 vom BfE erteilt. Jeweils drei Castoren wurden im Juni, September, Oktober, November und Dezember nach Neckarwestheim transportiert /BFE 18b/, /ENB 17/.

Die Belegung der Standortzwischenlager hatte zum Stichtag 31. Dezember 2017 den in Tabelle 8 beschriebenen Stand. Danach befanden sich 15.338 Brennelemente in 545 Lagerbehältern an den Standorten. Im Erfassungsjahr wurden somit 90 neue Behälter eingelagert, davon 62 mit DWR-Brennelementen und 28 mit SWR-Brennelementen. Die meisten Behälter wurden in Biblis (16 Behälter), Krümmel (12 Behälter), Brunsbüttel und Neckarwestheim (jeweils 9 Behälter) in die Zwischenlager eingestellt. Zusätzlich wurden im Umfragejahr 15 Behälter aus Obrigheim nach Neckarwestheim transportiert und eingestellt. Ein Transferbehälter mit 3 BE wurde ins Lagerbecken von KWB B entladen. Bild 4 zeigt graphisch die Auslastung, bezogen auf die genehmigte Kapazität.

**Tabelle 8:** Lagerbestand in den Standortzwischenlagern, Stand 31. Dezember 2017

| Standort | | Lagerkapazität | | Bestand | | | Zuwachs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Anlage | (Mg SM) | (Stellplätze) | (BE) | (Mg SM)[1] | (Behälter) | (Behälter) |
| Brunsbüttel | KKB | 450 | 80 | 965 | 161 | 20 | 9 |
| Krümmel | KKK | 775 | 65 | 2081 | 353 | 41 | 12 |
| Brokdorf | KBR | 1.000 | 100 | 570 | 291 | 30 | 1 |
| Unterweser | KKU | 800 | 80 | 665 | 340 | 35 | 8 |
| Grohnde | KWG | 1.000 | 100 | 570 | 293 | 30 | 0 |
| Lingen/Emsland | KKE | 1.250 | 125[2] | 817 | 416 | 43 | 5 |
| Biblis | KWB A | 1.400 | 135 | 874 | 449 | 46 | -1 |
| | KWB B | | | 851 | 438 | 45 | 17 |
| Philippsburg | KKP 1 | 1.600 | 152 | 1458 | 240 | 29 | 0 |
| | KKP 2 | | | 589 | 301 | 31 | 2 |
| Neckarwestheim | KWO[3] | 1.600 | 151 | 342 | 100 | 15 | 15 |
| | GKN I | | | 405 | 139 | 22 | 4 |
| | GKN II | | | 783 | 396 | 40 | 5 |
| Gundremmingen | KRB B | 1.850 | 192 | 1456 | 242 | 28 | 3 |
| | KRB C | | | 1404 | 231 | 27 | 4 |
| Isar | KKI 1 | 1.500 | 152 | 468 | 76 | 9 | 0 |
| | KKI 2 | | | 641 | 325 | 33 | 6 |
| Grafenrheinfeld | KKG | 800 | 88 | 399 | 204 | 21 | 0 |
| **Summe** | | **14.025** | **1.420** | **15.338** | **4.995** | **545** | **90** |

[1] Angabe vom Betreiber, Länderumfragebogen zum 31. Dezember 2017.
[2] 125 Stellplätze für beladene Behälter und 5 Stellplätze für leere Behälter zugelassen /BFS 02/.
[3] 342 BE (100 Mg SM) aus KWO sind in insgesamt 15 Behälter in das Zwischenlager eingestellt worden.

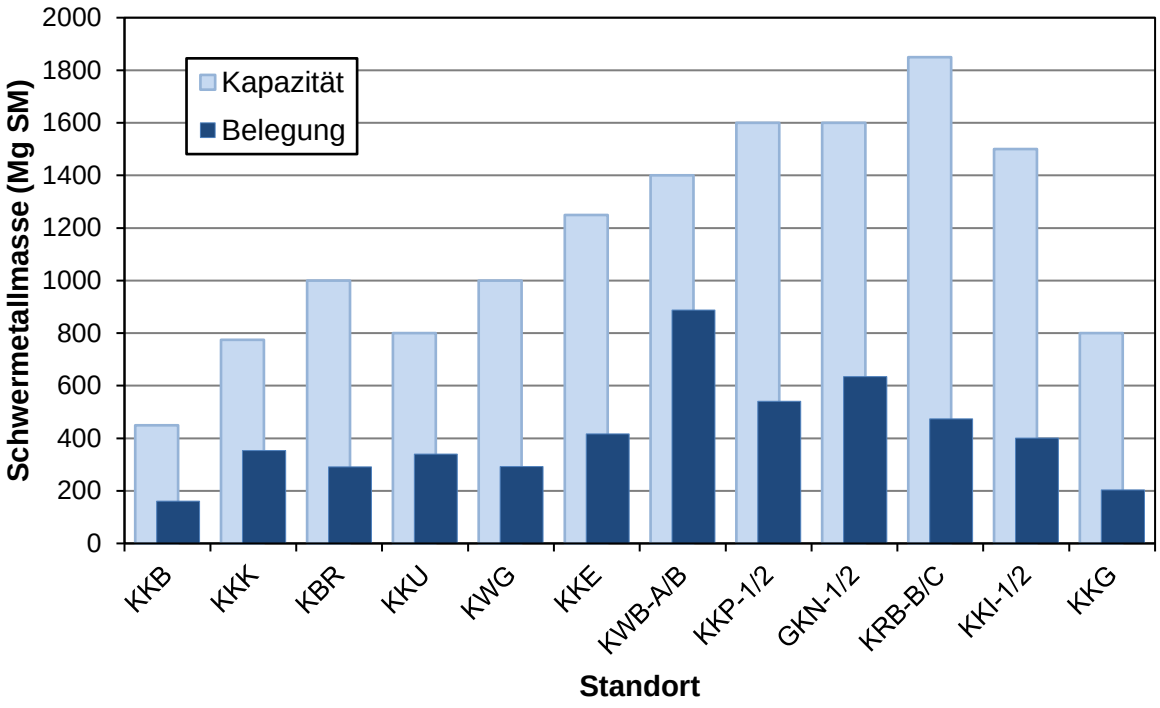



**Bild 4**: Kapazität und Belegung der Standortzwischenlager, GNK-1/2 beinhaltet 100 Mg SM aus KWO, Stand 31. Dezember 2017

### 2.2.3 Externe Zwischenlagerung

Für die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente wurden über die damals vorhandenen KKW-internen Nasslager hinaus externe trockene Zwischenlager errichtet. Die verfügbaren Stellplätze der Zwischenlager Gorleben und Ahaus sind den Kernkraftwerken nach einem bestimmten Verteilungsschlüssel zugeordnet. Die Entsorgungsmöglichkeit in die externen Zwischenlager Gorleben und Ahaus wurde von 1992 bis 1998 von einigen Kernkraftwerksbetreibern in Anspruch genommen.

Im Behälterlager Gorleben (TBL-G) waren am Stichtag 113 Behälter eingelagert. Fünf davon enthalten abgebrannte Brennelemente mit einer Gesamtmasse von etwa 37 Mg SM. Sie stammen aus den Kraftwerken Philippsburg (1 CASTOR® IIa), Neckarwestheim (3 CASTOR® V/19) und Gundremmingen (1 CASTOR® Ic). 108 Behälter mit jeweils 28 HAW-Glaskokillen („CSD-V“) stammen aus der Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague.

Im Behälterlager Ahaus (TBL-A) stehen 305 Behälter mit THTR/AVR-Brennelementen. Darüber hinaus lagern dort sechs Behälter mit abgebrannten LWR-BE aus den Kraftwerken Neckarwestheim (3 CASTOR® V/19) und Gundremmingen (3 CASTOR® V/52) sowie 18 CASTOR® MTR2 Behälter mit Forschungsreaktor-Brennelementen aus Rossendorf (951 BE; ca. 2,3 Mg einschließlich der nicht abtrennbaren Hüll- und Konstruktionsmaterialien). Bei der Lagerbelegung in Ahaus mit THTR-300-Behältern ist zu beachten, dass 6-7 derartige Behälter den Stellplatz eines LWR-Lagerbehälters einnehmen. Künftig werden keine abgebrannten Brennelemente aus Leistungsreaktoren mehr in Gorleben und Ahaus eingelagert. Es ist jedoch vorgesehen, das TBL Ahaus auch für die Aufbewahrung weiterer Brennelemente aus Forschungsreaktoren in Behältern der Bauart CASTOR MTR2 oder MTR3 (zum Beispiel Hahn-Meitner-Institut Berlin (HMI), Universität Mainz, Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) der Technischen Universität München) zu nutzen. Der erste Antrag für die Einlagerung der bayrischen Abfälle wurde 1995 gestellt. Er wurde jedoch zwischenzeitlich zurückgezogen, da die GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH einen speziellen Castor-Transportbehälter vom Typ MTR3 konstruieren musste. Am 30. September 2014 beantragte die GNS die Wiederaufnahme des atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens. Es wird erwartet, dass von 2018 bis 2036 rund 20 CASTOR-Behälter mit Brennelementen aus dem FRM II nach Ahaus transportiert werden /BUN 14/, /WAZ 15/.

In Jülich befindet sich ein trockenes Zwischenlager, das ausschließlich die abgebrannten Brennelemente des Prototyp-Hochtemperaturreaktors AVR enthält. Die Aufbewahrungsgenehmigung nach § 6 AtG endete am 30. Juni 2013, eine Verlängerung um drei Jahre wurde

vom FZJ beantragt. Da zum 1. Juli 2013 die beantragte Genehmigung durch das BfS noch nicht erteilt werden konnte, erließ die atomrechtliche Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde des Landes Nordrhein-Westfalen (MWEIMH) eine Anordnung für die weitere Aufbewahrung des Kernbrennstoffs aus dem AVR im Zwischenlager Jülich bis zum 31. Dezember 2013. Nach Erteilung dieser Anordnung am 28. Juni 2013 stellte sich heraus, dass die Nachweisführung zu Anforderungen aus dem Genehmigungsverfahren beim BfS erheblich aufwendiger war als angenommen. Daher wurde eine erneute atomaufsichtliche Anordnung notwendig. Diese berechtigte das FZJ weiterhin zum Besitz der Kernbrennstoffe. Sie trat mit Wirkung vom 1. Januar 2014 in Kraft und war auf sieben Monate bis zum 31. Juli 2014 befristet. Da die Nachweisführung zu den Anforderungen aus dem Genehmigungsverfahren auch bis zum 31. Juli 2014 nicht abgeschlossen werden konnte, hat das MWEIMH am 2. Juli 2014 eine Anordnung zur Entfernung der Kernbrennstoffe aus dem AVR-Behälterlager Jülich erlassen. Hierfür hat das FZJ ein Konzept vorgelegt, das derzeit geprüft wird. Die Entscheidung über den weiteren Verbleib der AVR-Brennelemente obliegt der JEN (siehe unten) und deren Gesellschaftern als verantwortliche Besitzer der Brennelemente. Eine staatliche Verwahrung der AVR-Brennelemente scheidet aus, da die atomrechtlichen Voraussetzungen hierfür nicht gegeben sind /BFS 16/.

Es gibt drei Optionen für die Verbringung der Brennelemente. Eine dieser Möglichkeiten besteht darin, die in 152 CASTOR®-AVR-Behältern befindlichen Brennelemente von Jülich nach Ahaus zu verlagern /BUN 09/, /BUN 12/. Am 24. September 2009 haben die Brennelement-Zwischenlager Ahaus GmbH (BZA) und die GNS die Genehmigung zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen in Form von bestrahlten Brennelementen und sonstigen radioaktiven Stoffen in Form von Betriebselementen aus dem ehemaligen Betrieb des AVR nach § 6 AtG beantragt. Dem Antrag wurde am 21. Juli 2016 vom BfS entsprochen.

Inzwischen prüfen die JEN (siehe unten) und ihre Gesellschafter, die Bundesrepublik Deutschland und das Land Nordrhein-Westfalen, gemeinsam mit dem amerikanischen Department of Energy (DOE) auch die Option, die AVR-Brennelemente in das Herkunftsland des Kernbrennstoffs, die USA, zurückzubringen /BUN 16/, /FZJ 12/. Als eine dritte Option wird die Verbringung der Brennelemente in ein neu zu errichtendes Zwischenlager am Standort Jülich genannt. Aus Sicht der Aufsichtsbehörde stehen jeder dieser Optionen zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine grundsätzlichen Hindernisse entgegen /MWE 15a/, /MWE 15b/.

Im Dezember 2014 beauftragte das FZJ den Betreiber des Zwischenlagers Ahaus, die GNS, die Ende 2012 ruhend gestellten Genehmigungsanträge für den Transport und die Einlage-

rung der AVR-Brennelemente in Ahaus wieder aufzunehmen. Diese Maßnahme diente der Risikominimierung für den Fall, dass eine Verbringung der Brennelemente in die USA nicht realisierbar sein sollte. Bis zur abschließenden Entscheidung, welche der Optionen realisiert wird, ist es das Ziel des Betreibers, alle drei Optionen offen zu halten und weiter zu konkretisieren.

Am 1. September 2015 übertrug das FZJ die Betriebsführung für das Zwischenlager auf die neu gegründete AVR GmbH, in der der Geschäftsbereich Nuklear-Service des FZJ sowie die ebenfalls in Jülich ansässige Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor (AVR) in einer Gesellschaft zusammengeführt wurden. Zum 1. Januar 2016 wurde die AVR GmbH in die Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen mbH (JEN) umbenannt. Damit ist die JEN Betreiberin des Zwischenlagers und für eine sichere Lagerung oder einen sicheren Abtransport der AVR-Brennelemente verantwortlich /BFS 16/.

Das Zwischenlager Nord (ZLN) ist seit 1999 in Betrieb. Seit dieser Zeit wurden die bis dahin noch im ZAB bzw. in den Kernkraftwerken Rheinsberg und Greifswald befindlichen Brennelemente nach und nach ins ZLN verbracht. Der letzte von insgesamt 65 CASTOR®-Behältern mit Brennelementen aus diesen beiden Kernkraftwerken (ca. 583 Mg SM) wurde am 15. Juni 2006 eingelagert. Die zeitliche Entwicklung der Einlagerungsvorgänge bis zu diesem Zeitpunkt ist in /HUM 09/ dargestellt. Im Dezember 2010 wurden zusätzlich vier Behälter mit abgebrannten Brennstäben aus der Kompakten Natriumgekühlten Kernreaktoranlage KNK des ehemaligen Kernforschungszentrums Karlsruhe, bestrahlte und unbestrahlte Brennstäbe aus Nuklearexperimenten des Kernforschungszentrums Karlsruhe sowie bestrahlte und unbestrahlte Brennstäbe des Reaktorschiffs „Otto Hahn“ eingelagert. Im Februar 2011 folgte die Einlagerung von fünf Behältern des Typs CASTOR® HAW 20/28 CG mit verglasten hochradioaktiven Abfällen aus dem Betrieb der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK).

Eine Übersicht der vorhandenen externen Zwischenlager für Brennelemente aus Leistungsreaktoren zeigt Tabelle 9 /BFE 18c/. In Tabelle 10 sind die Kapazitäten und Lagerbestände zusammengestellt.

**Tabelle 9:** Externe Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente aus Leistungsreaktoren

| Standort | Art der Aufbewahrung | Antrags- bzw. Genehmigungswerte | Vorgesehene Behälterbauarten und Zahl der Stellplätze |
|---|---|---|---|
| Ahaus | *Zentrales Lager*<br>für abgebrannte BE aus verschiedenen Kraftwerken und Forschungsreaktoren<br>(Lagerzeit max. 40 Jahre) | 3.960 Mg<br>(3.942 Mg für EVU)<br>Aufbewahrungsgenehmigung vom 07.11.1997<br>$2x10^{20}$ Bq | CASTOR® V/19, V/52, MTR2 und THTR/AVR auf insgesamt 420 Stellplätzen (370 LWR-, 50 THTR- und 24 AVR-Stellplätze) |
| Gorleben | *Zentrales Lager*<br>für abgebrannte BE aus verschiedenen Kraftwerken und HAW-Kokillen für alle Kraftwerke<br>(Lagerzeit max. 40 Jahre) | 3.800 Mg Kernbrennstoff<br>(3.768 Mg für EVU)<br>Aufbewahrungsgenehmigung vom 02.06.1995<br>$2x10^{20}$ Bq | CASTOR® Ia, Ib, Ic, IIa, V/19, V/52, HAW 20/28 CG, HAW 28M[1)], TS 28V sowie TN 85[2)] auf insgesamt 420 Stellplätzen |
| Jülich | Dezentrales Lager ausschließlich für abgebrannte BE des AVR (Anordnung zur Räumung) | 0,225 Mg<br>Aufbewahrungsgenehmigung seit 2013 abgelaufen<br>Kein Aktivitätsgrenzwert | CASTOR® THTR/AVR max. 158 Behälter |
| Greifswald | *Dezentrales Lager*<br>für BE aus Greifswald und Rheinsberg<br>(Lagerzeit max. 40 Jahre) | 585 Mg<br>Genehmigung im November 1999<br>$7,5x10^{18}$ Bq | CASTOR® 440/84, HAW 20/28 CG[3)] und KNK[4)] auf 80 Stellplätzen |

[1)] Am 29. Januar 2010 hat das Bundesamt für Strahlenschutz den Behälter der Bauart CASTOR® HAW 28M für die Zwischenlagerung von jeweils 28 Glaskokillen in Gorleben genehmigt /BFS 10a/, /BFS 10b/.

[2)] Am 23. Mai 2007 hat das Bundesamt für Strahlenschutz den Behälter der Bauart TN 85 für die Zwischenlagerung von jeweils 28 Glaskokillen in Gorleben genehmigt /BFS 07/.

[3)] Am 24. Februar 2009 hat das Bundesamt für Strahlenschutz den Behälter der Bauart CASTOR® HAW 20/28 CG SN 16 für die Zwischenlagerung von jeweils 28 Glaskokillen in Greifswald genehmigt /BFS 09a/, /BFS 09b/.

[4)] Am 30. April 2010 hat das Bundesamt für Strahlenschutz den Behälter der Bauart CASTOR® KNK für die Zwischenlagerung in Greifswald genehmigt /BFS 10c/.

**Tabelle 10:** Kapazitäten und Lagerbestände der externen Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente und verglaste HAW in Deutschland

| Kürzel | Anlage (Betriebsgenehmigung) | Lagerart | Lagerkapazität | | derzeit eingelagert | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Mg SM | Stellplätze | Herkunft | Menge | Behälter |
| TBL-G | Gorleben (05. Sept. 83) | Trocken | 3.800[1)] | 420[1)] | KKP 2 | 4,7 Mg SM | 1 |
| | | | | | KRB B | 2,8 Mg SM | 1 |
| | | | | | GKN II | 29,4 Mg SM | 3 |
| | | | | | La Hague | 3.024 CSD-V-Kokillen | 108[2)] |
| TBL-A | Ahaus (10. Apr. 87) | Trocken | 3.960 | 420 (370 LWR, 50 THTR, 24 AVR) | GKN II | 28,4 Mg SM | 3 |
| | | | | | KRB C | 26,4 Mg SM | 3 |
| | | | | | THTR-300 | 6,6 Mg SM[3)] | 305 |
| | | | | | RFR/Rossendorf | 2,3 Mg SM[4)] | 18 |
| AVR | Jülich (17. Jun. 93) | Trocken | 0,225[5)] | 158 | AVR | 0,086 Mg SM[5,6)] | 152 |
| ZLN | Greifswald[7)] (05. Nov. 99) | Trocken | 585 | 80 | Rheinsberg | 48 Mg SM | 6 |
| | | | | | Greifswald | 535 Mg SM | 59 |
| | | | | | Karlsruhe und „Otto Hahn“ | 2.413 Brennstäbe[8)] (0,5 Mg SM) | 4 |
| | | | | | WAK | 140 Kokillen | 5 |

[1)] Ein Teil der Stellplätze ist für die Lagerung von HAW-Kokillen vorgesehen (Anträge BEG vom 21. Juni 1988, 09. März 1989 und 08. August 1989).
[2)] 74 CASTOR® HAW 20/28 CG, 21 CASTOR® HAW28M, 12 TN 85, 1 TS28V mit jeweils 28 HAW-Kokillen.
[3)] Inklusive Thorium. Entspricht 617.606 Kugelbrennelementen; weitere 2.198 äquivalente Brennelemente (Kugelbruch) befinden sich im Spannbetonreaktorbehälter /MWE 16/.
[4)] Masse der Brennelemente zum Zeitpunkt der Bereitstellung zur Entsorgung. Sie umfasst neben der Gesamtmasse des Brennstoffs auch die Masse der nicht abtrennbaren Hüll- und Konstruktionsmaterialien. Die abschneidbaren Kopf- und Fußteile werden dabei nicht berücksichtigt.
[5)] Thermisch spaltbare Isotope (U-233, U-235, Pu-239, Pu-241) /FZJ 14/.
[6)] Die gesamte SM-Masse incl. Thorium und nicht thermisch spaltbaren Uranisotopen beträgt 1,808 Mg SM /FZJ 14/
[7)] BE aus Rheinsberg: 6 CASTOR® 440/84; BE aus Greifswald: 56 CASTOR® 440/84 und 3 CASTOR® KRB-MOX mit je einem geometrisch gestörten BE; Brennstäbe aus Karlsruhe und „Otto Hahn“: 4 CASTOR® KNK; Kokillen aus WAK: 5 CASTOR® 440/84, HAW 20/28 CG.
[8)] Davon 2361 Brennstäbe aus KNK, 52 Brennstäbe aus „Otto Hahn“.

### 2.2.4 Ausländische Anlagen

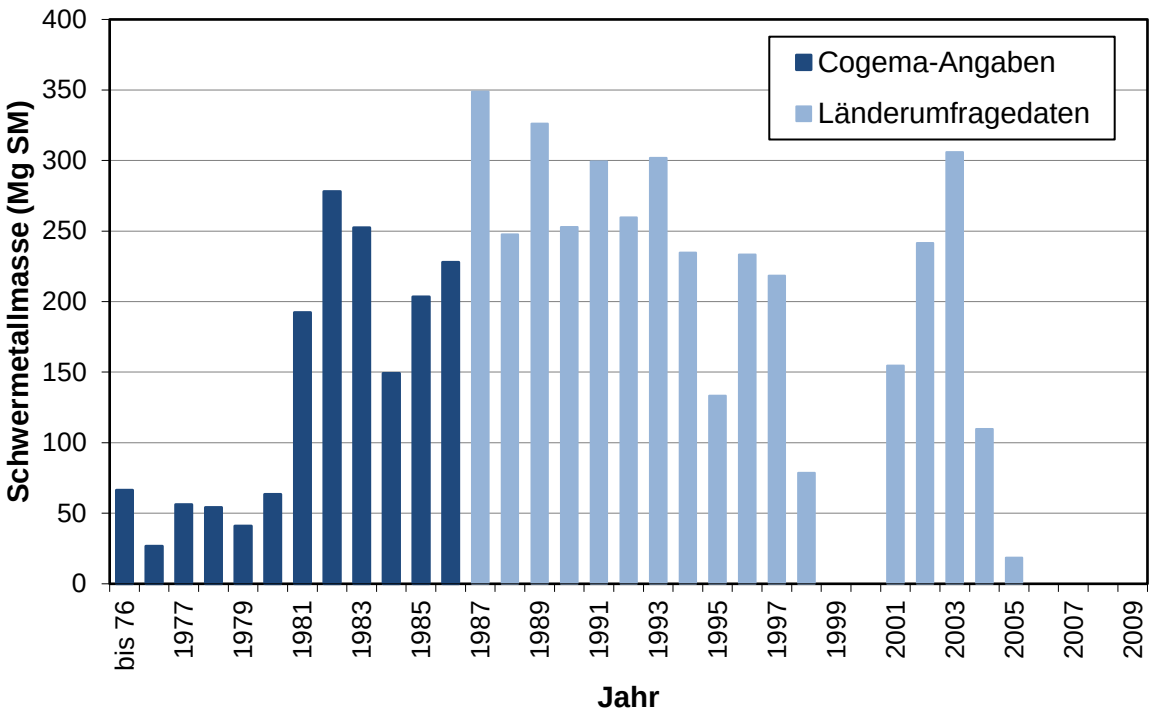
Der Entsorgungsweg für abgebrannte Brennelemente über ausländische Anlagen wurde in der Vergangenheit vor allem über die Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich (AREVA NC, ehemals Cogema) und Großbritannien (NDA, Sellafield Ltd., ehemals BN-GS bzw. BNFL), mit Rücklieferung der radioaktiven Abfälle, wahrgenommen. Ein kleiner Teil wurde darüber hinaus bei EUROCHEMIC in Mol (Belgien) wiederaufgearbeitet oder zur Lagerung in die schwedische Anlage CLAB (Centralt Mellanlager för använt Kärnbränsle) gebracht. Für die Kernkraftwerke Rheinsberg und Greifswald erfolgte die Entsorgung durch Rücktransport der Brennelemente in die ehemalige UdSSR. Rund 27 Mg SM aus Greifswald, Block 5, wurden zum Wiedereinsatz nach Paks (Ungarn) gebracht.

Seit dem 01. Juli 2005 sind Transporte von abgebrannten Brennelementen aus Leistungsreaktoren zur Wiederaufarbeitung im Ausland nicht mehr zulässig (§ 9a Abs. 1 AtG). Somit sind die entsprechenden Tabellen in diesem Bericht als abschließende Bilanzen zu sehen.

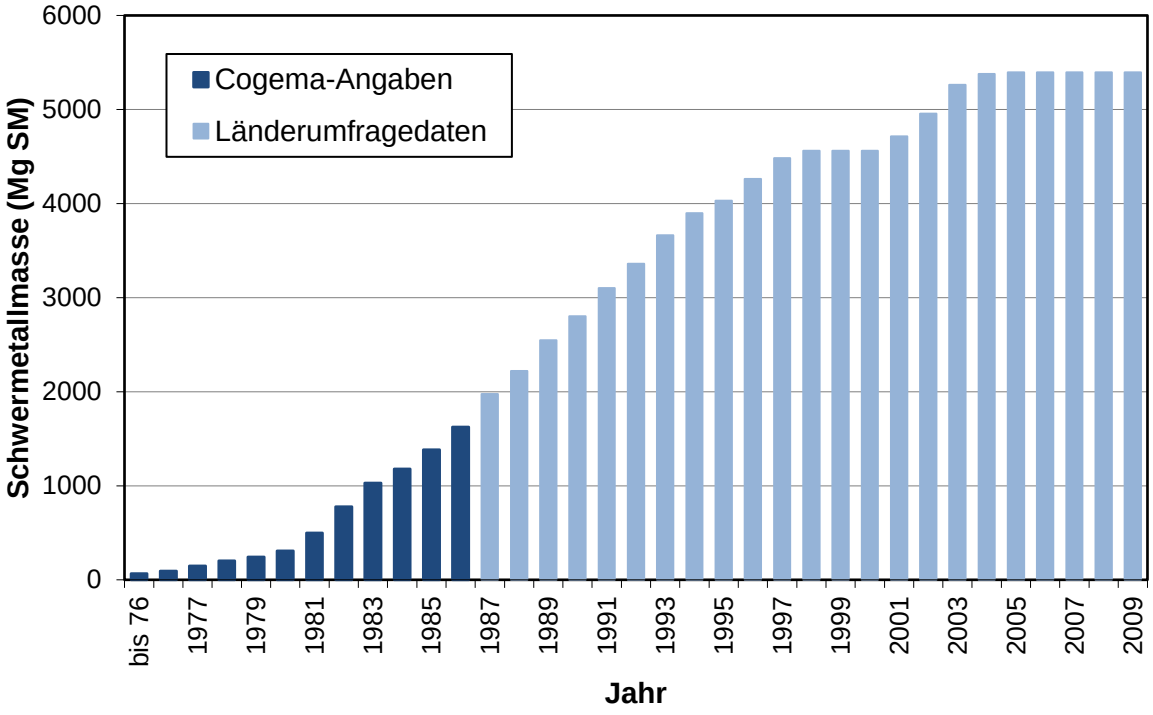
#### 2.2.4.1 AREVA NC / COGEMA

Insgesamt wurden 5.393 Mg SM zur Wiederaufarbeitung nach Frankreich gebracht, davon 24 Mg nach vorübergehender Lagerung in der WAK. Laut Angaben der Betreiber gelten alle angelieferten Brennelemente als vertraglich bereits aufgearbeitet. Anlagenspezifische Daten zu den abgelieferten Mengen finden sich in Kapitel 2.3 (Tabelle 13).

Der zeitliche Verlauf der Transportmengen kommt in Bild 5 zum Ausdruck. Dabei entsprechen die Angaben ab 1987 Daten aus den Länderumfragen, die Angaben für die Jahre davor basieren auf Cogema-Angaben.




(a) Transportmengen pro Jahr




(b) Kumulierte Transportmengen

**Bild 5**: Zeitlicher Verlauf der Transportmengen zur Cogema

#### 2.2.4.2 NDA (Nuclear Decommissioning Agency) Sellafield

Insgesamt wurden 854 Mg SM aus Leistungsreaktoren zur Wiederaufarbeitung nach Sellafield (früher BN-GS bzw. BNFL) in Großbritannien gebracht. Laut Angaben der Betreiber wurden inzwischen alle angelieferten Brennelemente auch aufgearbeitet. Anlagenspezifische Daten zu den abgelieferten Mengen finden sich in Kapitel 2.3 (Tabelle 13).

Der zeitliche Verlauf der Transportmengen (einschließlich der rund 13 Mg SM aus MZFR) kommt in Bild 6 zum Ausdruck. Dabei entsprechen die Angaben ab 1987 Daten aus den Länderumfragen, die Angaben davor basieren auf BNFL-Angaben.

#### 2.2.4.3 Sonstige ausländische Anlagen

Gemäß Tabelle 11 wurden bis 31. Dezember 2017 insgesamt etwa 341 Mg SM über EUROCHEMIC (Belgien), CLAB (Schweden), die UdSSR oder Ungarn entsorgt. Der Wert ist gegenüber dem Vorjahr unverändert. Weitere Transportvorgänge sind derzeit nicht geplant.

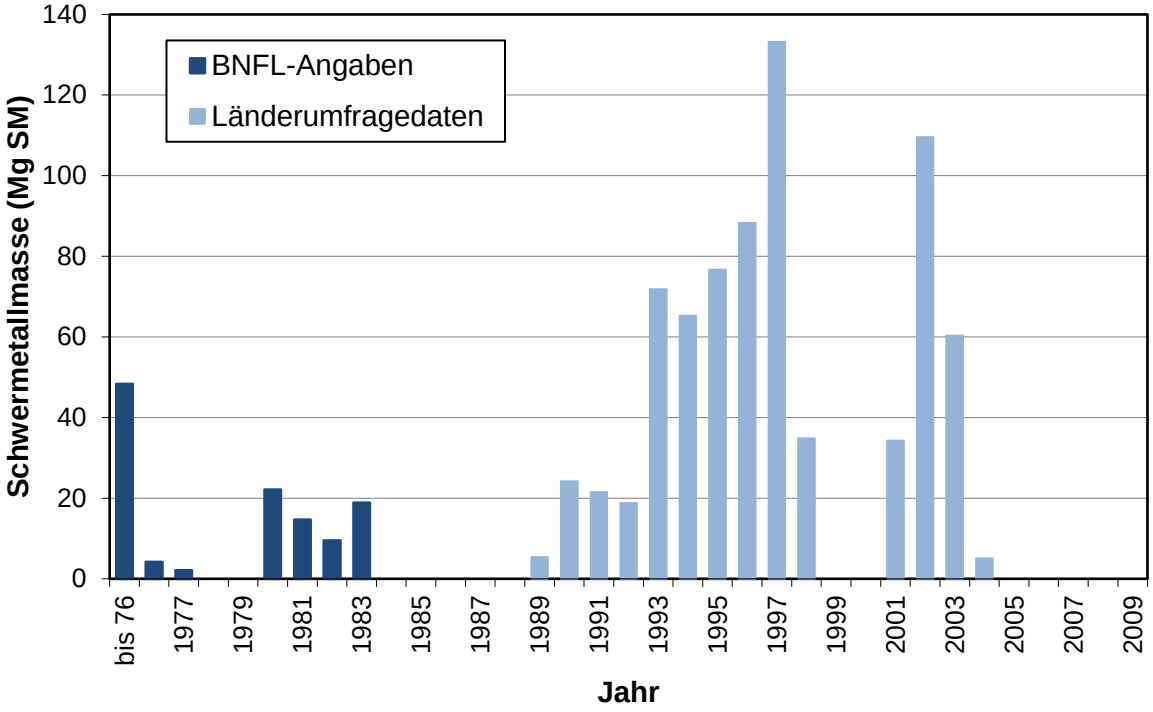
**Tabelle 11:** Transporte zu sonstigen ausländischen Einrichtungen bis 31. Dezember 2017 in Mg SM

| Typ | Anlage | Standort | Entsorger | Menge (Mg SM)[1)] |
|---|---|---|---|---|
| DWR | KWO | Obrigheim | CLAB/SKB[2)] | 9 |
| SWR | KRB A | Gundremmingen A | CLAB/SKB | 8 |
| SWR | KRB A | Gundremmingen A | EUROCHEMIC | 14 |
| DWR | KKR | Rheinsberg | UdSSR | 58 |
| DWR | KGR 1-4 | Greifswald 1-4 | UdSSR | 225 |
| DWR | KGR 5 | Greifswald 5 | Paks/Ungarn[3)] | 27 |
| **Summe** | | | | **341** |

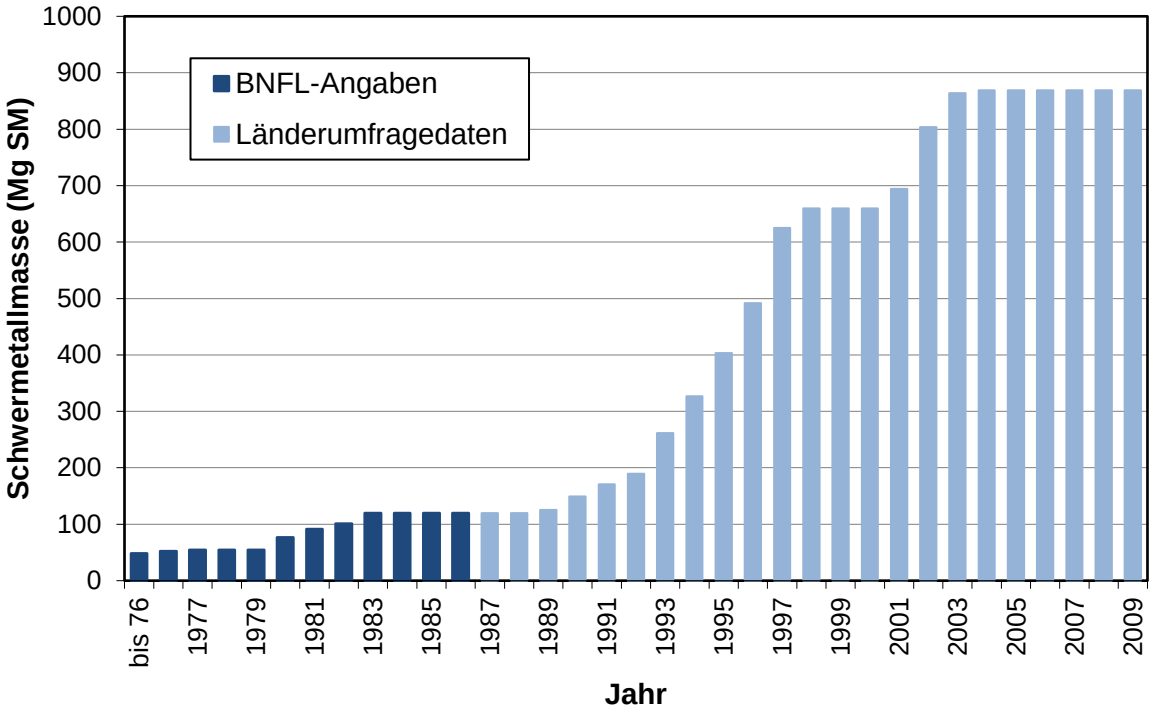
[1)] berechnet durch Multiplikation der Brennelementzahl mit dem mittleren BE-Gewicht aus Tabelle B-1.

[2)] Bei KWO wurde mit einem BE-Gewicht von 0,286 Mg SM gerechnet statt der in Tabelle B-1 angegebenen 0,292 Mg SM, da es sich um MOX-BE handelte.

[3)] über ZAB




(a) Transportmengen pro Jahr




(b) Kumulierte Transportmengen

**Bild 6:** Zeitlicher Verlauf der Transportmengen zur BNFL

### 2.2.5 Wiederaufarbeitung im Inland

Seit der Außerbetriebnahme der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Ende 1990 steht im Inland keine Wiederaufarbeitungsanlage mehr zur Verfügung. Gemäß Tabelle 12 beträgt die bei der Länderumfrage für Leistungsreaktoren genannte Entsorgungsmenge über die WAK 85 Mg SM. Weitere 24 Mg SM (67 Brennelemente) wurden nach Stilllegung der WAK zur Wiederaufarbeitung nach Frankreich gebracht. Die Daten wurden gegenüber früheren Berichten leicht modifiziert, nachdem im Rahmen der Beantwortung einer parlamentarischen Anfrage vom BMU mit Schreiben vom 27. Juli 2009 offizielle Daten veröffentlicht worden waren.

Anzumerken ist, dass über die in Tabelle 12 genannten Mengen hinaus weitere abgebrannte Kernbrennstoffe aus Prototyp- und Forschungsreaktoren zur WAK geliefert und dort wiederaufgearbeitet wurden. Nach Angaben der WAK sind dies /LBW 10/:

- aus MZFR und VAK: 97 Mg SM*
- aus HDR, FR 2, GKSS-Nuklearschiff „Otto Hahn“ sowie Einzelstäbe: 26 Mg SM

* Wert gerundet, 96,3 nach /LBW 10/

**Tabelle 12:** Entsorgung durch die WAK in Mg SM

| Anlage | Standort | Menge (Mg SM) |
|---|---|---|
| KKS | Stade | 18[1)] |
| KWO | Obrigheim | 41[2)] |
| GKN I | Neckarwestheim I | 15[3)] |
| KRB A | Gundremmingen A | 11 |
| **Summe** | | **85** |

[1)] weitere 20 Mg nach vorübergehender Lagerung bei WAK 1991 zu COGEMA weitergeleitet
[2)] weitere 1 Mg nach vorübergehender Lagerung bei WAK 1991 zu COGEMA weitergeleitet
[3)] weitere 3 Mg nach vorübergehender Lagerung bei WAK 1991 zu COGEMA weitergeleitet
Quellen: BMU-Schreiben vom 27. Juli 2009; Stellungnahme des Umweltministeriums Baden-Württemberg, Drucksache 14/5690 vom 18. Januar 2010 /LBW 10/

## 2.3 Bisher durchgeführte externe Entsorgungsschritte

Die bis 31. Dezember 2017 ins Ausland bzw. zu inländischen Entsorgungseinrichtungen (WAK, externe oder standortnahe Zwischenlager) gebrachten Mengen abgebrannter Brennelemente aus Leistungsreaktoren sind in Tabelle 13 zusammengefasst. Entsprechende Informationen für die stillgelegten Versuchs- und Prototyp-Reaktoren sind in /HUM 09/ aufgelistet.

**Tabelle 13:** Bisheriger Abtransport abgebrannter Brennelemente aus Leistungsreaktoren in Mg SM (Stichtag 31. Dezember 2017)

| | Anlage | Inbetrieb-nahme Jahr | Stillle-gung Jahr | Transport ins Ausland oder zur WAK | | | | | | | Zwischenlagerung | | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | COGEMA | BNFL | WAK | EURO-CHEMIC | CLAB | UdSSR | Paks | Externe Lager | Standortzwi-schenlager | Sonstige | |
| In Betrieb befindliche Anlagen | KBR | 1986 | - | 143 | 55 | - | - | - | - | - | - | 291 | - | 489 |
| | KWG | 1985 | - | 243 | 45 | - | - | - | - | - | - | 293 | - | 580 |
| | KKE | 1988 | - | - | 113 | - | - | - | - | - | - | 416 | - | 529 |
| | KKP 2 | 1985 | - | 208 | - | - | - | - | - | - | 5[1)] | 301 | - | 514 |
| | GKN II | 1989 | - | - | - | - | - | - | - | - | 58[1,2)] | 396 | - | 454 |
| | KRB B | 1984 | - | 189 | 6 | - | - | - | - | - | 3[1)] | 242 | - | 440 |
| | KRB C | 1985 | - | 107 | 78 | - | - | - | - | - | 26[2)] | 231 | - | 442 |
| | KKI 2 | 1988 | - | 179 | - | - | - | - | - | - | - | 325 | - | 504 |
| | **Zwischensumme** | | | **1.068** | **297** | **-** | **-** | **-** | **-** | **-** | **92** | **2.495** | **-** | **3.952** |
| Stillgelegte Anlagen | KWL | 1968 | 1977 | - | 66 | - | - | - | - | - | - | - | - | 66 |
| | KRB A | 1966 | 1977 | 72 | 20 | 11 | 14 | 8 | - | - | - | - | - | 125 |
| | KKR | 1966 | 1990 | - | - | - | - | - | 58 | - | 48[3)] | - | - | 106 |
| | KGR | 1974-79 | 1990 | - | - | - | - | - | 225 | 27 | 535[3)] | - | - | 787 |
| | KWW | 1975 | 1995 | 346 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 346 |
| | KMK | 1986 | 1988 | 96 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 96 |
| | KKS | 1972 | 2003 | 521 | - | 18[4)] | - | - | - | - | - | - | - | 539 |
| | KWO | 1969 | 2005 | 202 | - | 41[5)] | - | 9 | - | - | - | - | - | 252 |
| | KKB | 1976 | 2011 | 296 | - | - | - | - | - | - | - | 161 | - | 457 |
| | KKK | 1983 | 2011 | 238 | 89 | - | - | - | - | - | - | 353 | | 680 |
| | KKU | 1979 | 2011 | 292 | 244 | - | - | - | - | - | - | 340 | - | 876 |
| | KWB A | 1975 | 2011 | 406 | 21 | - | - | - | - | - | - | 449 | - | 877 |
| | KWB B | 1977 | 2011 | 414 | 6 | - | - | - | - | - | - | 438 | - | 859 |
| | KKP 1 | 1980 | 2011 | 391 | - | - | - | - | - | - | - | 240 | - | 631 |
| | GKN I | 1976 | 2011 | 320 | 111 | 15[6)] | - | - | - | - | - | 239[7)] | 28[8)] | 685 |
| | KKI 1 | 1979 | 2011 | 339 | - | - | - | - | - | - | - | 76 | - | 416 |
| | KKG | 1982 | 2015 | 391 | - | - | - | - | - | - | - | 204 | - | 595 |
| | **Summe** | | | **5.393** | **854** | **85** | **14** | **17** | **283** | **27** | **675** | **4.995** | **28** | **12.343** |

[1)] Brennelementlager Gorleben
[2)] Brennelementlager Ahaus
[3)] Zwischenlager ZLN
[4)] weitere 20 Mg nach vorübergehender Lagerung bei WAK zu COGEMA
[5)] weitere 1 Mg nach vorübergehender Lagerung bei WAK zu COGEMA
[6)] weitere 3 Mg nach vorübergehender Lagerung bei WAK zu COGEMA
[7)] Inklusive 100 Mg SM aus KWO
[8)] Zwischenlagerung im Nachbarblock

## 2.4 Brennelemente aus Forschungsreaktoren

Der Entsorgungsvorsorgenachweis gilt nur für abgebrannte Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland. Da im Rahmen der Berichterstattung für die 6. Überprüfungskonferenz zur Joint Convention jedoch entsprechende Recherchen für Forschungsreaktoren durchgeführt wurden, werden die Ergebnisse an dieser Stelle der Vollständigkeit halber in Tabelle 14 zusammengefasst.

Gemäß § 3 Abs. 6 AtG gilt: Die Erteilung einer Genehmigung zur Ausfuhr von aus dem Betrieb von Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen zu Forschungszwecken stammenden bestrahlten Brennelementen darf nur aus schwerwiegenden Gründen der Nichtverbreitung von Kernbrennstoffen oder aus Gründen einer ausreichenden Versorgung deutscher Forschungsreaktoren mit Brennelementen für medizinische und sonstige Zwecke der Spitzenforschung erfolgen. Davon ausgenommen ist die Verbringung der Brennelemente nach Satz 1 mit dem Ziel der Herstellung in Deutschland endlagerfähiger und endzulagernder Abfallgebinde. Abweichend von Satz 1 darf eine Genehmigung zur Ausfuhr bestrahlter Brennelemente nach Satz 1 nicht erteilt werden, wenn diese Brennelemente auf der Grundlage einer Genehmigung nach § 6 im Inland zwischengelagert sind.

**Tabelle 14:** Inventar und Entsorgungswege bestrahlter Brennelemente aus Forschungsreaktoren (Stand 31. Dezember 2017)

| Reaktor | Bestand [Anzahl] | Bestand [kg bzw. Mg SM] | Lagerort | Entsorgungsweg |
|---|---|---|---|---|
| **In Betrieb:** | | | | |
| BER-II, Berlin | 17 BE | 26,1 kg SM | Absetz-gestelle | Verbringung in das TBL Ahaus. Langfristige Zwischenlagerung in Behältern, anschließend ggf. Konditionierung und Endlagerung, in Ausnahmefällen Rücktransport ins Ursprungsland nach § 3 Abs. 6 AtG. |
| FRM II, Garching | 43 BE und zwei Konverterplatten | 299,3 kg SM und 0,5 kg SM in den Konverterplatten | Gestell im Absetzbecken des FRM II | Verbringung in das TBL Ahaus. Langfristige Zwischenlagerung in Behältern, anschließend ggf. Konditionierung und Endlagerung, in Ausnahmefällen Rücktransport ins Ursprungsland nach § 3 Abs. 6 AtG. |
| FRMZ, Mainz | 82 BE bestrahlt, 7 BE unbestrahlt | 16 kg Uran total (ausschließlich LEU) davon 3 kg 235U | im Kern und im Trockenlager | Der FRMZ hat einen „Lebenszeitkern“, aus dem Brennelemente nur einmalig nach dem Abschalten des Reaktors in einen CASTOR® MTR3 entladen und in das TBL Ahaus verbracht werden in Behältern, anschließend ggf. Konditionierung und Endlagerung, in Ausnahmefällen Rücktransport ins Ursprungsland nach § 3 Abs. 6 AtG. |
| AKR-2, Dresden | -- | -- | -- | Wegen Nullleistungsbetrieb praktisch kein Abbrand; selektive Veraschung des Polyethylens der Brennstoffplatten; Verwertung des Uranoxids als Brennstoff für Leistungsreaktoren. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| SUR-Reaktoren (4 x) | -- | -- | -- | Wie AKR-2. |
| **Stillgelegt:** | | | | |
| FRJ-2, Jülich | -- | -- | -- | Reaktor ist seit Mitte 2008 brennstofffrei; alle BE wurden 2008 in die USA entsorgt; Stilllegungsgenehmigung am 20. Sept. 2012 erteilt. |
| FRG-1 | -- | -- | -- | Reaktor ist brennstofffrei. Alle BE wurden in die USA entsorgt. |
| FRG-2 | -- | -- | -- | Reaktor ist brennstofffrei. Alle BE wurden in die USA entsorgt. |
| RFR, Dresden | 951 BE | 2,3 Mg Gesamtmasse[1)], darin enthalten ca. 200 kg HEU und knapp 100 kg LEU[2)]. | TBL Ahaus (18 Behälter) | Langfristige Zwischenlagerung in Behältern, anschließend ggf. Konditionierung und Endlagerung, in Ausnahmefällen Rücktransport ins Ursprungsland nach § 3 Abs. 6 AtG. |

[1)] Masse der Brennelemente zum Zeitpunkt der Bereitstellung zur Entsorgung. Sie umfasst neben der Gesamtmasse des Brennstoffs auch die Masse der nicht abtrennbaren Hüll- und Konstruktionsmaterialien. Die abschneidbaren Kopf- und Fußteile werden dabei nicht berücksichtigt.

[2)] http://www.vkta.de/uploads/downloads/Infozeitung/VKTA_transparent_2006_2.pdf

# 3 Verwertung des abgetrennten Plutoniums

## 3.1 Angegebene Plutoniummengen

Bei den Angaben zu den Plutoniummengen geht es in erster Linie um die Beurteilung der Plausibilität der Angaben im Hinblick auf die Realisierbarkeit der Plutoniumverwertung in deutschen Kernkraftwerken. Da es sich teilweise um Planungen handelt, die mit Unsicherheiten behaftet sind, kann in der Regel keine vollständige Konsistenz aller Zahlen erreicht werden, insbesondere, wenn Zahlen unterschiedlicher Kalenderjahre mit gegebenenfalls unterschiedlichen Planungen miteinander verglichen werden.

Im Rahmen der Umfrage wurden von den Energieversorgungsunternehmen Angaben zum bereits vorhandenen Plutoniumbestand (abgetrennt oder in frischen MOX-BE) sowie zum erwarteten Restanfall gemacht. Die Daten sind in Tabelle 15 zusammengestellt. Tabelle 16 zeigt die zeitliche Entwicklung der zu verwertenden Pu-Gesamtmenge und vergleicht diese mit den im jeweiligen Jahr eingesetzten Pu-fiss-Mengen. Die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Einflussgrößen der Pu-Bilanzierung sind im Anhang D erläutert.

Aus der Bilanzierung und dem Vergleich zum Vorjahr ist festzustellen, dass im Jahr 2017 die aus der Wiederaufarbeitung der deutschen Brennelemente noch ausstehende Pu-fiss Menge von 241 kg respektive 12 MOX-Brennelemente im KKW Emsland eingesetzt worden sind. Damit ist die Rezyklierung des Plutoniums vollständig und beendet.

**Tabelle 15:** Plutoniumbestand und Restanfall (Stand 31. Dezember 2017)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **KKW** | **Bestand** | | | **Restanfall[1)]** | **Summe** | **MOX-Einsatz** |
| | **Bestand $PuO_2$ [2)] kg Pu-fiss** | **Darlehen [3)] kg Pu-fiss** | **Pu in unbestrahlten MOX-BE im KKW kg Pu-fiss** | **aus verpflichtenden Verträgen kg Pu-fiss** | **Spalte 2+3+4+5 (ohne Übertragung) kg Pu-fiss (ca.)** | **Einsatz von frischen MOX-BE im Zeitraum 2017 kg Pu-fiss** |
| **Baden-Württemberg** | | | | | | |
| GKN I | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GKN II | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKP 1/2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KWO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Bayern** | | | | | | |
| KKI 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKI 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KRB B/C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Hessen** | | | | | | |
| KWB A/B | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Niedersachsen** | | | | | | |
| KKS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KWG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| KKU | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 241 |
| KWL | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Nordrhein-Westfalen** | | | | | | |
| KWW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SNR-300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Rheinland-Pfalz** | | | | | | |
| KMK | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Schleswig-Holstein** | | | | | | |
| KKB | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKK | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KBR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe:** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **241** |

Fußnoten zu Tabelle 15, Verwertungsnachweis – Plutoniumbestand und Restanfall:

1) Ermittelt mit einem Pu-fiss-Faktor von 0,6 % in dem noch aufzuarbeitenden Brennstoff; diese Rechenwerte werden nach der physischen Aufarbeitung der BE durch die Messwerte der Wiederaufarbeiter ersetzt.

2) Zugeordnet und noch nicht verarbeitet; incl. Pu in Hanauer Lagerelementen und ggf. Pu bzw. MOX bei BE-Herstellern.

3) Pu an/von Dritte(n) gegeben / erhalten und zurückzunehmen(+) / zurückzugeben(–); nur anzugeben, wenn das Darlehen noch nicht zurückgezahlt ist.

**Tabelle 16:** Zeitliche Entwicklung der zu verwertenden Pu-Gesamtmenge und Vergleich mit den im jeweiligen Jahr eingesetzten Pu-fiss-Mengen

| KKW | Angaben bezüglich der zu verwertenden Pu-Gesamtmenge (Bestand + Restanfall, in kg Pu-fiss) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
| **RWE** | | | | | | | | |
| KRB B/C | 429 | 429 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KWB A/B | 179 | 179 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKE | 970 | 672 | 1.139 | 838 | 538 | 241 | 241 | 0 |
| KMK | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KWL | 227 | 203 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SNR-300 | 160 | 160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Teilsumme:** | **1.965** | **1.643** | **1.139** | **838** | **538** | **241** | **241** | **0** |
| **VENE (Vattenfall)** | | | | | | | | |
| KKB | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKK | 1.709 | 1.709 | 1.709 | 1.214 | 542 | 0 | 0 | 0 |
| **Teilsumme:** | **1.709** | **1.709** | **1.709** | **1.214** | **542** | **0** | **0** | **0** |
| **E.ON Kernkraft** | | | | | | | | |
| KKI 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKI 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KBR | 123 | 123 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKU | 199 | 199 | 166 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KWG | 323 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KWW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Teilsumme:** | **645** | **354** | **166** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** |
| EnBW Kernkraft | | | | | | | | |
| GKN I | 660 | 660 | 660 | 292 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GKN II | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKP 1/2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KWO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Teilsumme:** | **660** | **660** | **660** | **292** | **0** | **0** | **0** | **0** |
| **Gesamtsumme:** | **4.979** | **4.366** | **3.674** | **2.344** | **1.080** | **241** | **241** | **0** |
| Differenz zum Vorjahr | -713 | -613 | -692 | -1.330 | -1.264 | -839 | 0 | -241 |
| Pu-fiss-Einsatz in MOX | 590 | 589 | 591 | 1.357 | 1.260 | 837 | 0 | 241 |

## 3.2 Zeitliche Entwicklung der Plutoniumrezyklierung

Die Rezyklierung von der verbleibenden 241 kg Pu-fiss wurde mit dem Einsatz von 12 MOX-Brennelementen im Kernkraftwerk Emsland in 2017 vollständig abgeschlossen.

Im Folgenden wird eine Übersicht über die Entwicklung der Plutoniumrezyklierung in Deutschland gegeben. Die Daten basieren teilweise auf Angaben zu den insgesamt ausge-

lieferten MOX-BE und den entsprechenden Pu-fiss-Mengen in einem Vortrag von Etzmuß und Bröskamp im Rahmen des Workshops „Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium“ in Jülich vom 13. bis 14. Januar 2000 /BRÖ 00/.

Die im Zeitraum 2000 bis 2017 jährlich eingesetzten Mengen sowie die sich für den Stichtag 31. Dezember 2017 daraus ergebenden Gesamtsummen an Brennelementen sind in Tabelle 17a dargestellt. Entsprechende Angaben für die eingesetzte Menge in Kilogramm Pu-fiss finden sich in Tabelle 17b. Während die Pu-fiss-Mengen direkt aus den jeweiligen Länderumfragen entnommen werden, wurde die Anzahl der MOX-BE ab 2002 zum Teil anhand des Pu-fiss-Gehalts durch Rechnung abgeschätzt. Abweichungen der Angaben zu den bis 2000 insgesamt eingesetzten Mengen in den Tabellen 19a und 19b im Vergleich zu /BRÖ 00/ resultieren daraus, dass bei den Anlagen KWG, KRB B/C und KKI 2 einige der angelieferten Brennelemente am 31. Dezember 1999 noch unbestrahlt waren und somit noch nicht zum Einsatz kamen.

Die an einer Anlage bis zum Stichtag eingesetzte Schwermetallmenge in Form von MOX-Brennelementen (letzte Spalte in Tabelle 17a) wurde bisher aus der Anzahl der pro Jahr eingesetzten MOX-BE und dem mittleren Brennelementgewicht aus Tabelle B-1 berechnet. Aus den Einzelbeiträgen wurde eine Gesamtsumme gebildet. Bei dieser Berechnungsweise ergeben sich leicht relativ hohe Fehler aufgrund von Rundungseffekten. Um diese zu vermeiden, wurden bereits im Vorjahresbericht und in diesem Bericht die bis zum Stichtag an einer Anlage eingesetzten Brennelemente aufsummiert und die Summe der Brennelemente mit dem entsprechenden mittleren BE-Gewicht (Tabelle B-1) multipliziert. Die auf diese Weise berechneten Schwermetallmengen in Form von MOX-Brennelementen sind für die einzelnen Anlagen in der letzten Spalte der Tabelle 17a aufgeführt. Aufgrund der geänderten Berechnungsweise weichen die hier angegebenen Schwermetallmassen von den Angaben der Vorjahre ab.

Eine graphische Darstellung des bereits erfolgten und noch geplanten MOX-Einsatzes ist in Bild 7 (in Mg SM) und Bild 8 (in kg Pu-fiss) gezeigt. Hier wurden die bis einschließlich 1998 eingesetzten Pu- und Schwermetallmassen auf Basis der Länderumfragedaten zum MOX-BE-Einsatz und der anlagenspezifischen mittleren Pu-fiss-Massen /BRÖ 00/ und Schwermetallmassen in den BE berechnet. Die Daten zu den ab 1999 bis zum Stichtag eingesetzten Mengen basieren auf Angaben in /BRÖ 00/ und werden durch die jährlichen Länderumfragen fortgeschrieben.

**Tabelle 17a:** Abschätzung zum bisherigen Stand der Pu-Rezyklierung auf Basis der Länderumfragedaten und Betreiberangaben während des Pu-Workshops 2000 (Anzahl BE)

| Anlage | bis 2000[1)] | 2000 | 2001 | 2002[2)] | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | Gesamt | Gesamt[3)] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | BE | BE | BE | BE | BE | BE | BE | BE | BE | BE | BE | BE | BE | BE | BE | BE | BE | BE | BE | BE | Mg SM |
| KKE | | | | | | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | | 12 | 156 | 83,9 |
| KBR | 104 | 16 | 16 | 16 | 16 | 8 | 16 | | 16 | 16 | 12 | | | | 12 | 12 | 12 | | | 272 | 147,2 |
| KKU | 108 | 16 | 16 | 16 | 4 | 24 | 4 | 12 | | | | | | | | | | | | 200 | 107,6 |
| KWG | 48 | 12 | 16 | 16 | 16 | 16 | | | | | | | | | 8 | 8 | | | | 140 | 76,3 |
| KWO | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 78 | 22,8 |
| KKP 2 | 108 | | | 16 | 20 | 16 | 20 | 16 | | | [4)] | [4)] | | | | | | | | 196 | 106,0 |
| GKN I | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 32 | 11,5 |
| GKN II | 16 | 16 | 8 | 8 | 12 | | | | | | | [5)] | | | 16 | 12 | | | | 88 | 47,3 |
| KRB B/C | 140 | 68 | 84 | 110 | 112 | 96 | 104 | 96 | | 60 | 44 | | | | | | | | | 914 | 159,0 |
| KKI 2 | 16 | | 32 | 32 | 16 | | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | | | 228 | 122,0 |
| KKG | 60 | | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 12 | 12 | | | | | | | | | | | 164 | 88,1 |
| KRB A | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 80 | 9,4 |
| KNK II | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 21 | 0,4 |
| MZFR | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | 0,4 |
| VAK | 113 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 113 | 6,6 |
| KWL | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0,1 |
| **Summe** | **933** | **128** | **188** | **230** | **212** | **188** | **184** | **160** | **52** | **100** | **80** | **24** | **24** | **24** | **60** | **56** | **36** | **0** | **12** | **2.691** | **988,66** |

→ Bisher eingesetzte Anzahl von MOX-Brennelementen: **2.691** entsprechend **989 Mg SM**

[1)] Vortrag Etzmuß/Bröskamp beim Workshop „Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium“, Jülich, 13.-14. Januar 2000 /BRÖ 00/. Abzüge im Vergleich zu /BRÖ 00/ in 1999 und entsprechende Verschiebungen in Folgejahre bei KWG (-12 BE), KRB B/C (-72 BE) und KKI 2 (-32 BE), da die in Klammern genannten BE am 31. Dezember 1999 noch unbestrahlt waren. Der Wert für KNK II wurde von früheren Länderumfragen übernommen.

[2)] Der Erfassungszeitraum für die Pu-Rückführung erstreckte sich bei der LU 2002 vom 01. September 2000 bis 31. Dezember 2002. Um die Daten für das Kalenderjahr 2002 zu ermitteln, sind die bei der LU 2002 genannten Zahlen zumindest um die Zahlen des Jahres 2001 zu vermindern. In dieser Tabelle wurden daher Korrekturen durchgeführt, die als Differenz der Angaben aus der LU 2002 (Zeitraum Sept. 2000 – Dez. 2002) und den Daten der LU 2001 ermittelt wurden (rote Zahlen).

[3)] Die Werte weichen von denen der Vorjahresumfrage ab, weil die Gesamtmasse der eingesetzten MOX-Elemente zur Minimierung von Rundungsfehlern erstmals durch Multiplikation der Gesamtanzahl der BE mit der mittleren BE-Masse aus Tabelle B-1 ermittelt wurde.

[4)] EnBW Kernkraft (EnKK) hat von AREVA MOX-Brennelemente erworben und in KKP 2 eingesetzt. Da der Ursprung des aus AREVA-Beständen stammenden Plutoniums nicht mitgeteilt wurde, geht EnKK davon aus, dass es sich nicht um Plutonium aus der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente im Ausland handelt. In KKP 2 wurden im Jahr 2009 12 MOX-BE und im Jahr 2010 4 MOX-BE mit Fremdplutonium nachgeladen. Diese 16 MOX-BE wurden alle endgültig entladen.

[5)] EnBW Kernkraft (EnKK) hat von AREVA MOX-Brennelemente erworben und im Jahr 2010 in GKN II eingesetzt. Es handelte sich um 12 MOX-BE mit Fremdplutonium.

**Tabelle 17b:** Abschätzung zum bisherigen Stand der Pu-Rezyklierung auf Basis der Länderumfragedaten und Betreiberangaben während des Pu-Workshops 2000 (Angaben in kg Pu-fiss)

| Anlage | bis 2000[1)] | 2000 | 2001 | 2002[2)] | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | Gesamt |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss | kg Pu-fiss |
| KKE | | | | | | 297 | 297 | 298 | 299 | 299 | 298 | 298 | 298 | 299 | 298 | 298 | 297 | | 241 | 3.817 |
| KBR | 2.032 | 333 | 333 | 330 | 332 | 165 | 329 | | 334 | 334 | 251 | | | | 250 | 250 | 249 | | | 5.522 |
| KKU | 1.653 | 264 | 264 | 262 | 94 | 569 | 96 | 285 | | | | | | | | | | | | 3.487 |
| KWG | 762 | 190 | 264 | 261 | 263 | 263 | | | | | | | | | 129 | 130 | | | | 2.262 |
| KWO | 694 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 694 |
| KKP 2 | 1.886 | | | 356 | 445 | 376 | 470 | 375 | | | 3) | 3) | | | | | | | | 3.908 |
| GKN I | 337 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 337 |
| GKN II | 391 | 390 | 195 | 189 | 289 | | | | | | | 4) | | | 389 | 290 | | | | 2.133 |
| KRB B/C | 768 | 373 | 526 | 690 | 711 | 611 | 700 | 672 | | 477 | 350 | | | | | | | | | 5.878 |
| KKI 2 | 391 | | 783 | 782 | 389 | | 290 | 290 | 291 | 291 | 292 | 292 | 291 | 292 | 291 | 292 | 291 | | | 5.548 |
| KKG | 980 | | 298 | 296 | 382 | 382 | 385 | 288 | 289 | | | | | | | | | | | 3.300 |
| KRB A | 188 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 188 |
| KNK II | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| MZFR | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| VAK | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 32 |
| KWL | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| **Summe** | **10.117** | **1.550** | **2.663** | **3.166** | **2.905** | **2.663** | **2.567** | **2.208** | **1.213** | **1.401** | **1.191** | **590** | **589** | **591** | **1.357** | **1.260** | **837** | **0** | **241** | **37.109** |

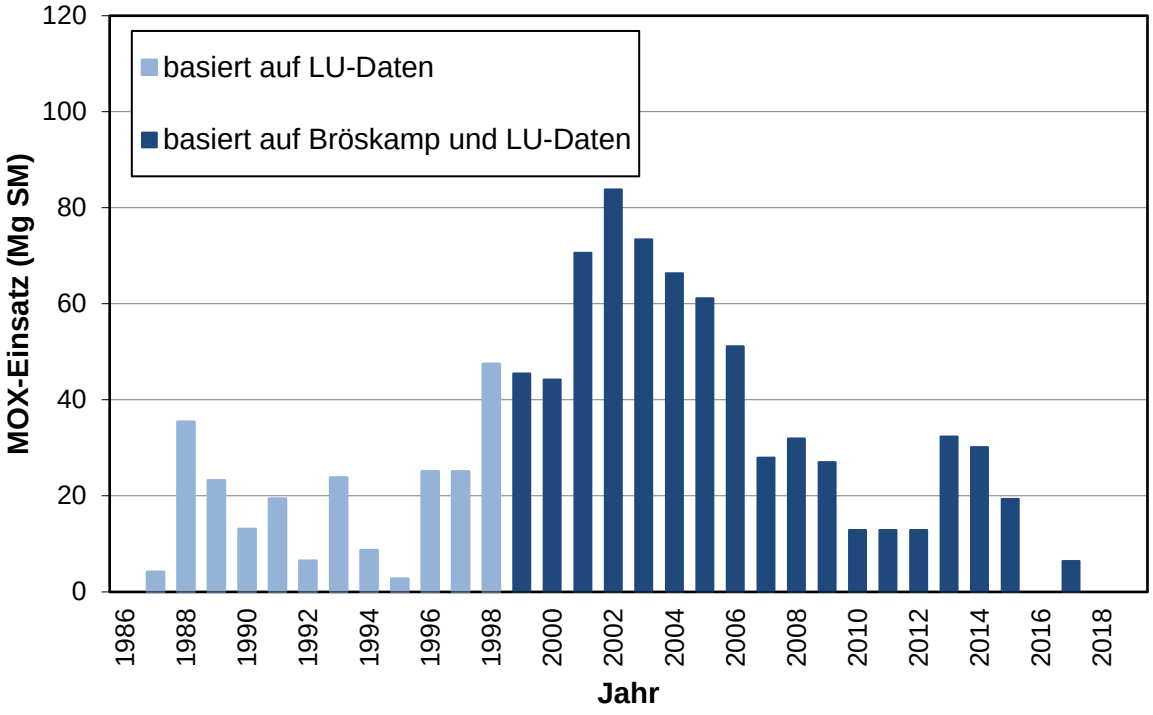
→ Bisher rezyklierte Pu-fiss-Menge: **37.109 kg**; bisher rezyklierte Pu-tot-Menge: **61.848 kg**, unter der Annahme, dass Pu-fiss 60% Pu-tot entspricht

[1)] Vortrag Etzmuß/Bröskamp beim Workshop „Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium“, Jülich, 13.-14.01.2000 /BRÖ 00/. Abzüge im Vergleich zu /BRÖ 00/ in 1999 und entsprechende Verschiebungen in Folgejahre bei KWG (-12 BE), KRB B/C (-72 BE) und KKI 2 (-32 BE), da die in Klammern genannten BE am 31. Dezember 1999 noch unbestrahlt waren. Der Wert für KNK2 wurde von früheren Länderumfragen übernommen.

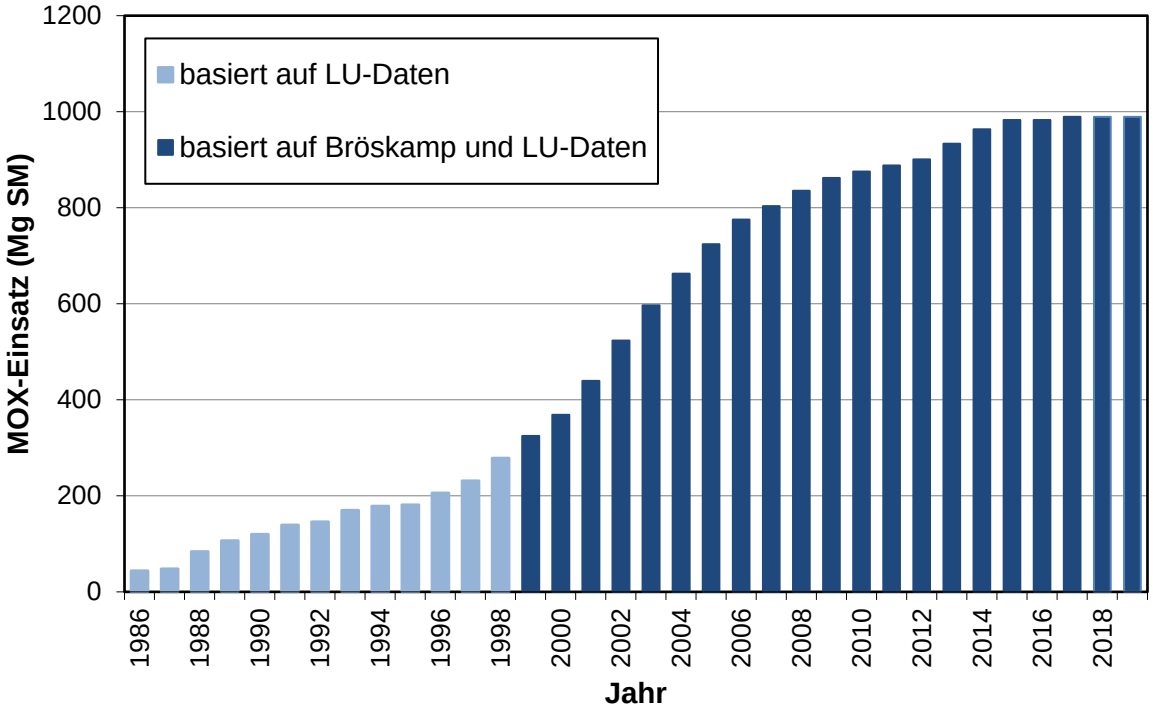
[2)] Der Erfassungszeitraum für die Pu-Rückführung erstreckte sich bei der LU 2002 vom 01. September 2000 bis 31. Dezember 2002. Um die Daten für das Kalenderjahr 2002 zu ermitteln, sind die bei der LU 2002 genannten Zahlen zumindest um die Zahlen des Jahres 2001 zu vermindern. In dieser Tabelle wurden daher Korrekturen durchgeführt, die als Differenz der Angaben aus der LU 2002 (Zeitraum Sep. 2000 – Dez. 2002) und den Daten der LU 2001 ermittelt wurden (rote Zahlen).

[3)] EnBW Kernkraft (EnKK) hat von AREVA MOX-Brennelemente erworben in KKP 2 eingesetzt. Da der Ursprung des aus AREVA-Beständen stammenden Plutoniums nicht mitgeteilt wurde, geht EnKK davon aus, dass es sich nicht um Plutonium aus der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente im Ausland handelt. In KKP 2 wurden im Jahr 2009 12 MOX-BE und im Jahr 2010 4 MOX-BE mit Fremdplutonium nachgeladen. Diese 16 MOX-BE wurden alle endgültig entladen.

[4)] EnBW Kernkraft (EnKK) hat von AREVA MOX-Brennelemente erworben und im Jahr 2010 in GKN II eingesetzt. Es handelte sich um 12 MOX-BE mit Fremdplutonium.

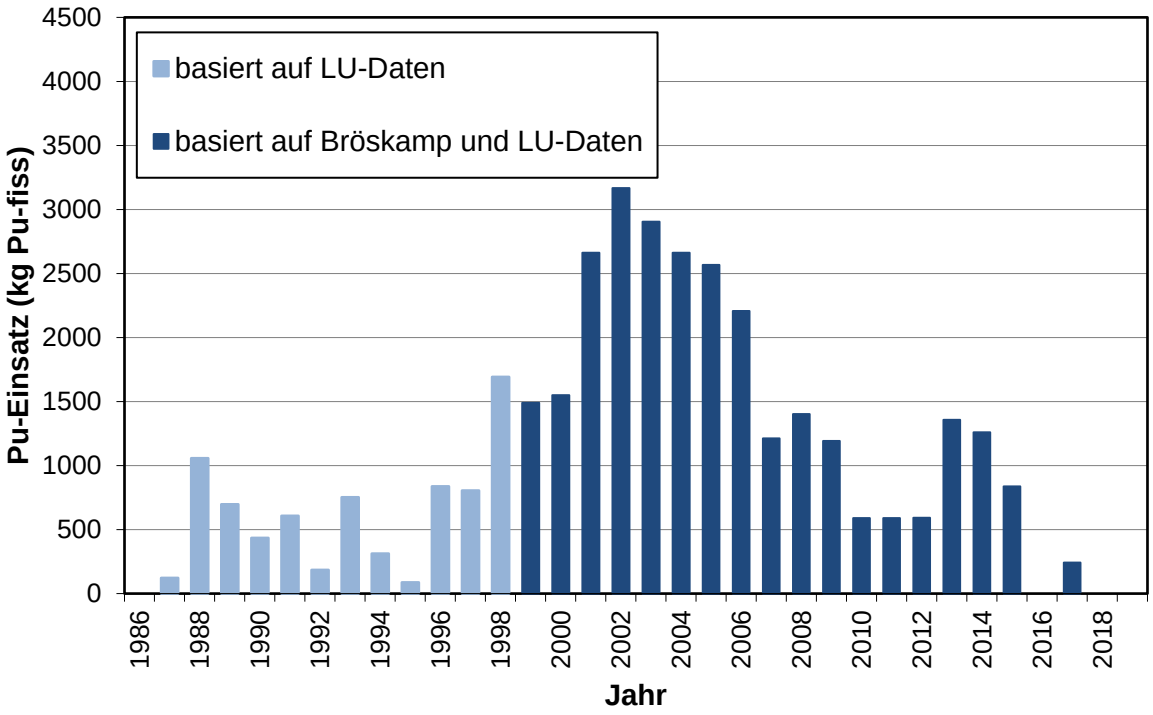



(a) MOX-Einsatz pro Jahr

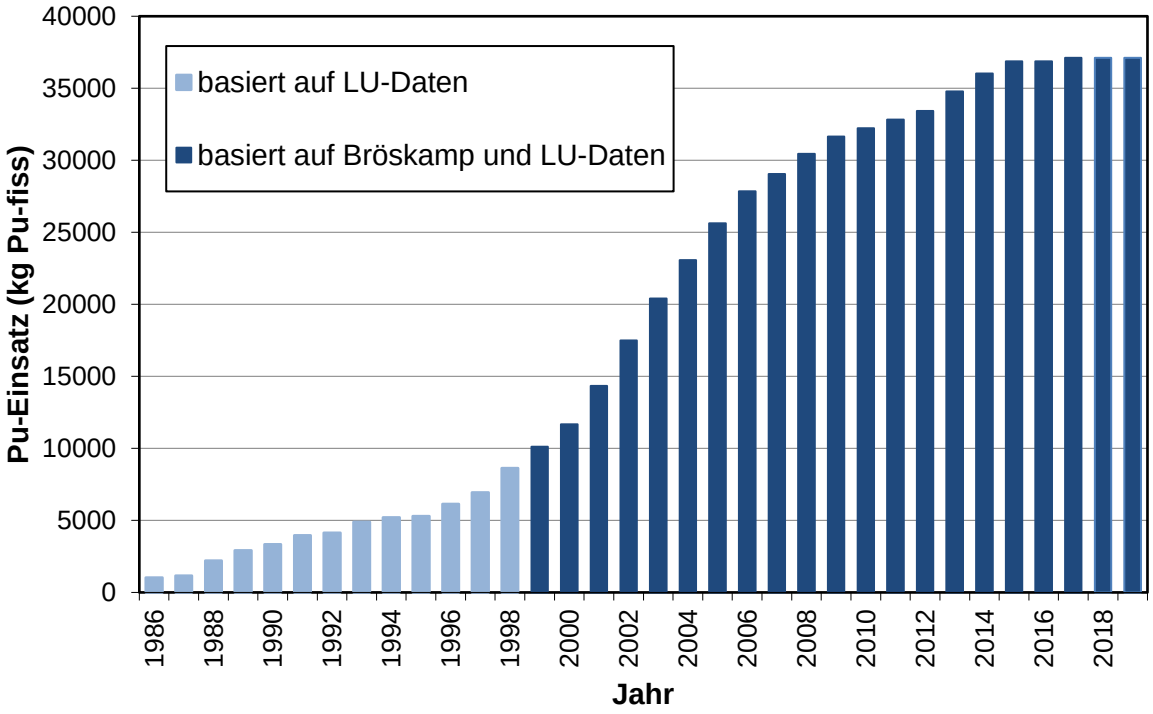



(b) Kumulierter MOX-Einsatz

**Bild 7:** Bisheriger MOX-Einsatz und Plandaten




(a) Pu-Einsatz pro Jahr




(b) Kumulierter Pu-Einsatz

**Bild 8:** Bisherige Pu-fiss-Rezyklierung und Plandaten

Bis Ende 2017 wurden insgesamt rund 37,1 Mg Pu-fiss bereits eingesetzt. In der Vorjahresumfrage wurden insgesamt 36,9 Mg Pu-fiss eingesetzt. In Bild 9 sind die bereits eingesetzten Pu-fiss-Mengen kraftwerksspezifisch den jeweiligen Plandaten gegenübergestellt.

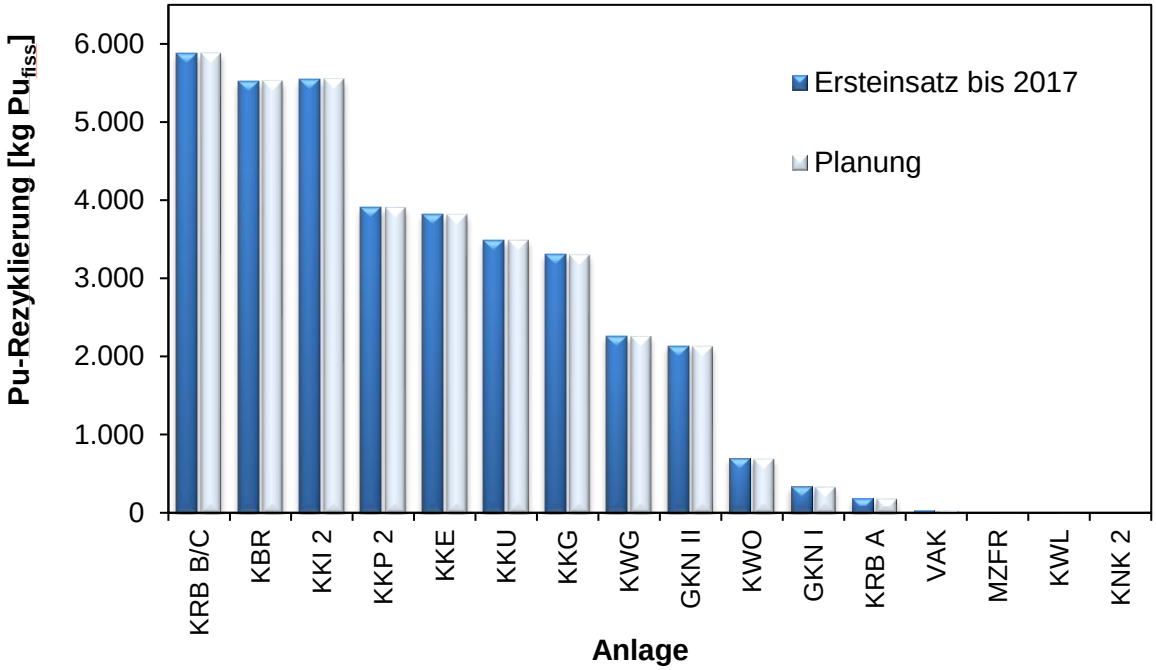



**Bild 9:** Bereits erfolgte Rezyklierung von Pu-fiss im Vergleich zu Plandaten

### 3.3 Bewertung

Die Gesamtmenge an spaltbarem Plutonium aus der Wiederaufarbeitung, die von den deutschen Energieversorgungsunternehmen zurückzunehmen und zu rezyklieren ist, liegt bei 37,1 Mg. Damit sind bis Ende 2017 **100 %** der Gesamtmenge als MOX-Brennstoff zum Wiedereinsatz gekommen. Die letzten 12 frischen MOX-Brennelemente wurden in 2017 in Emsland eingesetzt. Die Rezyklierung des abgetrennten Plutoniums durch MOX-Einsatz ist in der Gesamtsumme nachvollziehbar.

### 3.4 Sonstige Plutoniumbestände und deren Verbleib

Von der WAK (jetzt KTE) wurden erstmals im Rahmen der Länderumfrage Stand 31. Dezember 2012 Angaben zum Bestand und Verbleib von Kernbrennstoffen gemacht. Da die Kernbrennstoffe nicht aus dem Betrieb der Leistungsreaktoren stammen, fallen sie im eigentlichen Sinne nicht unter den für den Entsorgungsvorsorgenachweis relevanten § 9a

des Atomgesetzes, werden aber der Vollständigkeit halber hier mit aufgeführt. Die angegebenen Brennstoffmengen und Lagerorte sind in Tabelle 18 zusammengestellt.

**Tabelle 18:** Kernbrennstoffe der WAK (jetzt KTE) und deren Lagerorte, Stand 31. Dezember 2017

| Lagerort | Herkunft | Pu-tot (kg) | U-235 (kg) | Bemerkungen | Status 31. Dez. 2017 |
|---|---|---|---|---|---|
| ZLN Lubmin | KNK | 81 | 153 | Abgebrannte Brennstäbe aus dem 1. und 2. Core der KNK, die bei CEA nicht wiederaufgearbeitet werden konnten und in Cadarache lagerten, sowie bestrahlte und unbestrahlte Brennstäbe aus dem Versuchsprogramm zum Schnellen Brüter in Mol, Belgien. Das Material wurde im Dezember 2010 in 4 Behältern des Typs CASTOR KNK ins ZLN, Lubmin transportiert (zusammen mit 52 Brennstaben der Otto-Hahn). | Langzeitzwischenlagerung im ZLN |
| NCS Hanau | SNEAK | -- | 170 (abger. $UO_2$) | Restmenge von ursprünglich 58 Mg Uran aus der Reaktorforschungsanlage SNEAK, die bei NCS gelagert waren. Das Uranmetall wurde über Fa. Nukem an einen tschechischen Abnehmer entsorgt. Das Uranoxid konnte nicht mit verwertet werden und soll voraussichtlich über HDB entsorgt werden. Prüfung läuft. | Lagerung bei NCS |
| ITU Karlsruhe | PSB-Projekt und FZK diverse | 0 | 0 | Die unbestrahlten Restmengen ($Pu_{tot}$=2,3 kg, U=5,1 kg) in Form von Pulver, Stäben, Pellets aus verschiedenen Forschungsvorhaben wurden im Januar 2016 in die USA transportiert und dort von DOE übernommen. | Projekt PUREKA zur Abgabe der Kernbrennstoffe an DOE ist abgeschlossen. Bei ITU vorhandene Analysereste werden als Abfall über HDB entsorgt. |

# 4 Verbleib des abgetrennten Urans

In der Umfrage wird über die Umfragetabelle 4 ein Verbleibsnachweis für aus der Wiederaufarbeitung gewonnenes Uran zum Stand 31. Dezember 2017 verlangt. Weiter sind in der Tabelle der Bestand und der im Zeitraum von zwei Jahren nach dem Stichtag der geschätzte Anfall anzugeben.

## 4.1 Angegebene Uranmengen

Um den Lagerbedarf für Uran aus der Wiederaufarbeitung für die nächsten zwei Jahre abzuschätzen, sind nach § 9a Abs. 1d AtG die Bestände an Uran aus der Wiederaufarbeitung von deutschen Kernbrennstoffen und der geschätzte Anfall in den auf den Stichtag folgenden zwei Jahren von den Betreibern anzugeben. Die zum Stichtag vorhandenen Bestände gemäß Umfragetabelle 4 sowie die Veränderungen der Lagerbestände gegenüber dem Vorjahr sind anlagenspezifisch in Tabelle 19 aufgeführt.

## 4.2 Bewertung

Die Angaben zum Verbleib des aus der Wiederaufarbeitung gewonnenen Urans (RepU) beschränken sich auf den Bestand und die Prognose des in zwei Jahren anfallenden Urans, es gibt jedoch keine Aussagen zum Verbleib. Das ist nach § 9a Abs. 1d Satz 2 AtG zwar erst dann erforderlich, wenn das RepU aus der Zwischenlagerung verbracht werden soll, der Entsorgungsweg für das aus der Zwischenlagerung zu verbringende Uran bleibt dadurch jedoch im Unklaren.

Der Bestand im Jahr 2017 wird mit 26.849 kg Uran beziffert (siehe Tabelle 19) und ist damit identisch mit dem Bestand des Vorjahres. E.ON KK (KWW, KKG, KKU, KWG, KBR, KKS), RWE (KRB, KWB, KKE, KMK, KWL, SNR 300) und EnBW (GKN, KKP, KWO) verfügen über keine Bestände an Uran aus der Wiederaufarbeitung mehr und es ist auch kein weiterer Anfall zu erwarten. Der noch vorhandene Bestand liegt bei VENE (KKK). Die verbleibenden rund 27 Mg Uran aus KKK lagern in Sellafield. In den kommenden beiden Jahren fällt kein weiteres Uran aus der Wiederaufarbeitung an.

**Tabelle 19:** Bestand und weiterer Anfall des aus der Wiederaufarbeitung gewonnenen Urans

| KKW | Bestand Stichtag 31. Dez. 2017 | Bestand Stichtag 31. Dez. 2016 | Differenz | Geschätzter Anfall in den 2 a nach Stichtag |
|---|---|---|---|---|
| | kg U | kg U | kg U | kg U |
| **Baden-Württemberg** | | | | |
| GKN I (BN-GS) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GKN II (Cogema) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKP 1/2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KWO | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Bayern** | | | | |
| KKI 1/2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KRB B/C | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKG | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Hessen** | | | | |
| KWB A/B | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Niedersachsen** | | | | |
| KKS | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KWG | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKU | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKE | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KWL | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Nordrhein-Westfalen** | | | | |
| KWW | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SNR-300 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Rheinland-Pfalz** | | | | |
| KMK | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Schleswig-Holstein** | | | | |
| KKB | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KKK | 26.849[1)] | 26.849[1)] | 0 | 0 |
| KBR | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **26.849** | **26.849** | **0** | **0** |

[1)] Zwischenlagerung in Sellafield

# 5 Verbleib der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung im Ausland

## 5.1 Mengen

Zur Erfüllung der in § 9a Abs. 1b AtG enthaltenen Anforderungen hinsichtlich des Verbleibs der Wiederaufarbeitungsabfälle hat die GNS EVU-übergreifend einen Bericht über die getroffenen Entsorgungsmaßnahmen vorgelegt /GNS 18/. Darin sind das Mengengerüst der Behälter für Wiederaufarbeitungsabfälle von AREVA NC (früher COGEMA) und der NDA bzw. Sellafield Ltd[1]. (SL; früher BN-GS bzw. BNFL), die Rückführungszeiträume und die Bedingungen angegeben. Des Weiteren werden Kapazitätsbetrachtungen angestellt im Hinblick darauf, ob die zurückzuführenden Abfallmengen in den zentralen Zwischenlagern Ahaus und Gorleben ausreichend Platz finden. In Tabelle 20 ist das Mengengerüst der von AREVA NC und SL zurückzuliefernden Abfälle dargestellt.

Zusammenfassend ergibt sich folgendes Bild:

- Die aus Frankreich zurückzunehmenden 108 Behälter mit hochradioaktiven verglasten Abfällen sind seit 2011 vollständig zurückgeführt und werden in Gorleben gelagert. Von den 3.024 rückgeführten Glaskokillen sind sieben inaktiv, die zur vollständigen Auffüllung des Behälters dienen.
- Für die Rückführung der hochdruckkompaktierten mittelradioaktiven Abfälle (CSD-C) ist der Großbehälter TGC27 vorgesehen, der 27 Kokillen aufnehmen kann. Die maximal vereinbarte Zahl an rückzuführenden Gebinden beträgt unverändert 4.104 entsprechend 152 Großbehältern. Der Zeitpunkt für den Beginn der Rückführung ist gegenüber dem Vorjahr unverändert und wird mit „nicht vor 2030“ angegeben. Damit wird eine zusätzliche Zeitreserve von fünf Jahren berücksichtigt.
- Die voraussichtliche Zahl der rückzuführenden Gebinde mit verglasten radioaktiven Reststoffen aus der Betriebswasseraufbereitung (CSD-B) liegt unverändert bei 140, die Zahl der zugehörigen Transportbehälter bei 5. Der Zeitpunkt für die Rückführung (ein Transport) ist gegenüber dem Vorjahr unverändert und wird mit „nicht vor 2019“ angegeben. Die zugewiesene Aktivität lässt sich in 135 CSD-B Kokillen füllen. In die für die Rückfüh-

[1] Sellafield Ltd. ist der Betreiber der Anlage am Standort Sellafield, NDA (Nuclear Decommissioning Agency) ist der Eigentümer der Anlage am Standort Sellafield.

rung und Lagerung vorgesehenen CASTOR-Behälter vom Typ 28M werden fünf inaktive Kokillen zum Auffüllen der Behälter eingestellt.

- Hinsichtlich der Rückführung hochradioaktiver verglaster Abfälle aus Sellafield wird weiterhin von 21 Großbehältern mit 571 Glaskokillen ausgegangen. Der Zeitraum der Rückführung wird mit „nicht vor 2019“ angegeben.
- Erste Priorität bei der Rücklieferung haben unverändert die MAW-Glaskokillen aus La Hague (CSD-B) und die HAW-Glaskokillen aus Sellafield. Es folgen die kompaktierten CSD-C-Abfälle aus La Hague.

**Tabelle 20:** Mengengerüst der von AREVA NC und Sellafield Ltd. zurückzuliefernden Abfälle

| Abfallstrom | Transport-/Zwischenlager-behälter | Anzahl Behälter mit Sub-stitution | Prio-rität | Rückführungsstatus | Rücklieferungs-zeitraum (Annahme) | Behälter pro Jahr |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **AREVA NC / La Hague:** | | | | | | |
| CSD-V, HAW-Glaskokillen (180 l, verglaste Spaltprodukte und Feedklärschlämme) | CASTOR® HAW 20/28 CG bzw. weiterentwickelte Behälter (TS28V, TN85, CASTOR® HAW 28M) mit je 28 CSD-V Kokillen | 108 | | Transportprogramm abgeschlossen (2011 letzter Transport mit 11 Behältern). | 1996 bis 2011 (Rücklieferung abgeschlossen) | max. 12 |
| CSD-C, Kompaktierter MAW (180 l, BE-Hülsen und Technologieabfälle) | Großbehälter TGC27 mit je 27 CSD-C Kokillen | 152[2)] | 2 | Behälterentwicklung, Zulassungs- und Genehmigungsverfahren laufen. | Erster Transport nicht vor 2030 | in Abstimmung |
| CSD-B, MAW-Glasprodukt (180 l, verglaste Dekont- und Spülwässer)[1)] | Großbehälter analog HAW-Glaskokillen mit je 28 CSD-B Kokillen | 5 | 1 | Zulassung liegt vor, Genehmigungsverfahren in Bearbeitung. | Ein Transport nicht vor 2019 | 5 |
| **SL / Sellafield:** | | | | | | |
| HAW-Glaskokillen (180 l, verglaste Spaltprodukte) | CASTOR® HAW 28M mit je 28 Kokillen | 21[3)] | 1 | Zulassung liegt vor, Genehmigungsverfahren in Bearbeitung. | Erster Transport nicht vor 2019 | in Abstimmung |
| | **Summe Großbehälter:** | **286** | | | | |

1) Ersatz von Bitumen durch CSD-B

2) TW-Conversion – Vereinbarung der deutschen EVU mit Areva NC über die Rückführung ausschließlich metallischer, kompaktierter mittelaktiver Abfälle (CSD-C) incl. SWR-Wasserkästen, SNR-300-Erstkern und Lager-MOX

3) Einschließlich 4,802 % Substitutionszuschlag (1 zusätzlicher Behälter), ermittelt auf Basis der durch die zuständige britische Behörde und Sellafield Ltd. im Jahr 2006 abgestimmten Berechnungsmethodik.

## 5.2 Vorsorgemaßnahmen für den Verbleib der Abfälle

Der GNS-Bericht /GNS 18/ zur Darstellung der getroffenen Entsorgungsmaßnahmen für die nach Deutschland rückzuführenden radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente in den Anlagen der AREVA NC (früher COGEMA) in La Hague (F) und der Sellafield Ltd. (früher BN-GS bzw. BNFL) in Sellafield (GB) enthält Kapazitätsbetrachtungen zur Verbringung dieser Abfälle in die Zwischenlager in Deutschland.

Für die Rückführung des MAW-Glasprodukts (CSD-B) aus La Hague wird derzeit von dem Behältertyp CASTOR® HAW28M für 28 Gebinde ausgegangen. Die radioaktiven Reststoffe stammen aus der Betriebswasseraufbereitung aller Anlagen, d. h. der Wiederaufarbeitung und der Abfallbehandlung in La Hague. Die Abwasserbehandlung sah ursprünglich chemische Fällung der Reststoffe und die Einbettung der Schlämme in Bitumen vor. Mit dem geänderten Konzept der AREVA NC erfolgt die Abwasserbehandlung ausschließlich über Verdampfung und Verglasung mit dem neu entwickelten CCM-Verfahren „Cold Crucible Melter“. Das entstandene mittelaktive Glasprodukt wird in sogenannte CSD-B Kokillen gegossen. Seit dem 20. Dezember 2013 liegt die verkehrsrechtliche Zulassung für den Behälter CASTOR® HAW28M vor, das Genehmigungsverfahren ist noch in Bearbeitung.

Zwecks Rückführung des kompaktierten MAW (CSD-C) aus La Hague müssen in den nächsten Jahren die Behälter TGC27 entwickelt werden. Die Zulassungs- und Genehmigungsverfahren laufen. Das Verfahren zur Herstellung der CSD-C-Kokillen in der Kompaktierungsanlage ACC (Atelier de Compactage des Coques) wurde im Dezember 2007 durch das BfS qualifiziert. Die bisherigen praktischen Erfahrungen zeigen, dass der vertraglich zugesicherte Höchstwert von 1,5 CSD-C-Gebinden pro Mg SM deutlich unterschritten werden kann. Es wird je nach Vertragsart ein Wert zwischen 0,75 und 0,83 CSD-C/Mg SM unterstellt.

Hinsichtlich der bei der Wiederaufarbeitung in Sellafield angefallenen radioaktiven Abfälle wurden Verträge zur Substitution der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle durch HAW-Glaskokillen zwischen den deutschen Kunden und Sellafield Ltd. abgeschlossen. Für die Rückführung ist ebenfalls der Behältertyp CASTOR® HAW28M vorgesehen. Die verkehrsrechtliche Zulassung liegt ebenfalls seit dem 20. Dezember 2013 vor. Das Genehmigungsverfahren ist in Bearbeitung.

Wegen der Reduzierung der Abfallmengen und der Inbetriebnahme der Standortzwischenlager wurde für gegenwärtig nicht benötigte LWR-Stellplätze im Transportbehälterlager Ahaus

(TBL-A), Lagerbereich I, die Einlagerung von sonstigen radioaktiven Stoffen auf insgesamt 210 Stellplätzen für maximal zehn Jahre ab Einlagerung des ersten Behälters (Juli 2010) beantragt und am 09. November 2009 nach § 7 StrlSchV genehmigt. Die Genehmigung ist mit Erhalt der 6. Änderungsgenehmigung nach § 6 AtG vom 26. Mai 2010 nutzbar. Bisher wurden im Transportbehälterlager Ahaus alle Einlagerungen (Castoren V/19 und V/52 mit LWR-Brennelementen, Castoren THTR/AVR mit THTR-Brennelementen und Castoren MTR2 mit Brennelementen aus dem Forschungsreaktor Rossendorf) im Lagerbereich II vorgenommen. Da die beladenen Castoren THTR/AVR und MTR2 insgesamt 50 Stellplätze in Anspruch nehmen und weitere 6 Stellplätze von Castoren V/19 bzw. V/52 beansprucht werden, sind derzeit 56 Stellplätze belegt. Die geplante Einlagerung von CSD-C-Kokillen aus Frankreich soll ebenfalls in diesem Lagerbereich stattfinden. Die ursprünglich für LWR-Behälter konzipierte Belegung der Lagerhalle sah 20 LWR-Behälter je Bodensegment vor. Die technische Belastbarkeit des Bodens wird damit, laut GNS, jedoch nicht ausgeschöpft. GNS unterstellt, dass 25 TGC27-Behälter je Bodensegment aufgestellt werden können /GNS 16/. Damit würden künftig noch 24 Stellplätze für AVR-Brennelemente aus Jülich und ca. 122 Stellplätze für CSD-C-Kokillen aus Frankreich benötigt. Insgesamt wären damit 202 von 210 Stellplätzen des Lagerbereichs II belegt. Engpässe sind somit nicht zu erwarten.

Für das Transportbehälterlager Gorleben (TBL-G) ist die Einlagerung von sonstigen radioaktiven Stoffen in einer Hälfte des Lagerbereichs auf bis zu 210 Stellplätzen für maximal zehn Jahre vorgesehen. Mit Datum vom 05. Dezember 2013 wurde die Erstreckung der bestehenden Aufbewahrungsgenehmigung nach § 6 AtG auf die Lagerung von sonstigen radioaktiven Stoffen beantragt. Von den übrigen 210 Stellplätzen sind zurzeit 4 Stellplätze mit LWR-Brennelementen und 108 Stellplätze mit CSD-V-Kokillen aus Frankreich belegt. Bisher waren weitere 21 Stellplätze für verglasten HAW aus Großbritannien und 5 Stellplätze für CSD-B-Kokillen aus Frankreich vorgesehen. Nach Verabschiedung des Standortauswahlgesetzes müssen hierfür andere Lagerorte gefunden werden.

Nach § 9 Abs. 2a AtG müssen die Betreiber der Kernkraftwerke die aus der Wiederaufarbeitung stammenden verfestigten Spaltproduktlösungen zurücknehmen und in standortnahen Zwischenlagern aufbewahren. Das TBL-G zählt nicht dazu.

Die im Januar 2014 seitens des BMUB und der GNS ermittelten Kapazitäten für den Zeitpunkt der Abschaltung der Anlagen gemäß § 7 Abs. 1a AtG in den Standortzwischenlagern ergeben nach dem derzeitigen Kenntnisstand eine verfügbare Stellplatzanzahl von 18 Stellplätzen (KBR), 27 Stellplätzen (KKI), 32 Stellplätzen (KKP) und 25 Stellplätzen mit jeweils

einer Unsicherheitsreserve von 5 Stellplätzen. Somit stehen auch nach Abschluss der Stilllegung ausreichend Behälterstellplätze für die Zwischenlagerung der WA-Abfälle /GNS 18/.

Am 19. Juni 2015 hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (vormals Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) ein Papier mit dem Titel „Rückführung der Wiederaufarbeitungsabfälle Gemeinsame Eckpunkte“ /BMU 15/ vorgelegt. Nach dem Konzept des BMU ist vorgesehen, dass im Standortzwischenlager Philippsburg die fünf Behälter mit verglasten mittelradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung in La Hague (F) und in den Standortzwischenlagern Biblis, Brokdorf und Isar die maximal einundzwanzig Behälter mit verglasten hochradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung in Sellafield (UK) aufbewahrt werden sollen. Mitte Dezember 2016 haben Bundestag und Bundesrat das „Gesetz zur Neuordnung der Verantwortung in der kerntechnischen Entsorgung“ verabschiedet. Die Zwischenlager werden danach an einen bundeseigenen Zwischenlagerbetreiber zum 1. Januar 2019 übergehen. Die Rückführung der noch ausstehenden radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in Frankreich und England soll erst mit der atomrechtlichen Übernahme der Verantwortung durch den Bund beginnen.

In Bezug auf die kompaktierten MAW-Abfälle (CSD-C) sind folgende Schritte erforderlich:

- Erarbeitung eines Rückführungskonzepts,
- Entwicklung und Zulassung des Großbehälters vom Typ TGC 27 für 27 CSD-C-Kokillen,
- Genehmigungserweiterung des TBL-A zur Aufnahme der kompaktierten Wiederaufarbeitungsabfälle mit ausreichendem Vorlauf zur Rückführung.

## 5.3 Bewertung

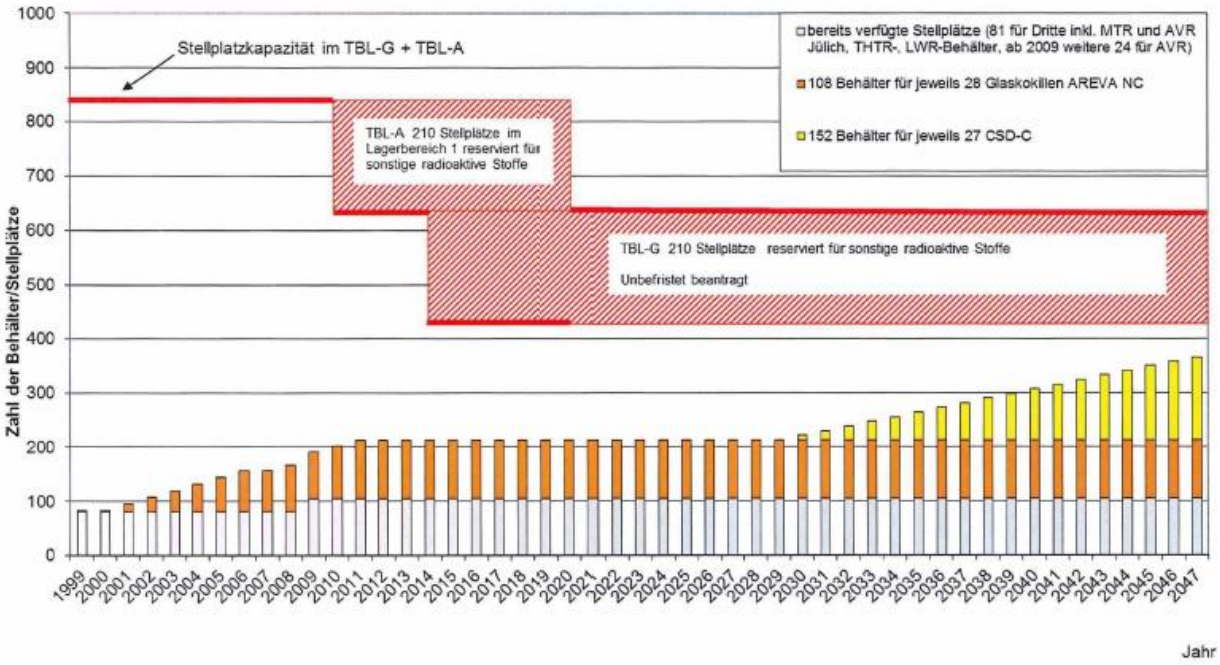
Die Menge der Brennelemente, die insgesamt zur Wiederaufarbeitung geliefert wurden und für die Rücknahmeverpflichtungen bestehen, ist seit dem 30. Juni 2005 unverändert. Für die Festlegung der Abfallmengen sind 5.309 Mg SM für AREVA NC und 768 Mg SM für Sellafield Ltd. als Vertragsmengen mit Rücknahmeverpflichtungen zugrunde zu legen.

Das Mengengerüst bezüglich der Abfallgebinde von AREVA NC und Sellafield Ltd. ist vertraglich abgesichert und ist im Vergleich zum Vorjahr unverändert geblieben. Die Rücklieferung umfasst damit insgesamt 286 Großbehälter. Darunter befinden sich 129 Großbehälter mit verglastem, hochradioaktivem Abfall, 108 Behälter mit CSD-V Kokillen aus La Hague –

diese wurden bereits zurückgeführt und lagern im Transportbehälterlager Gorleben – und 21 Behälter mit HAW-Kokillen aus Sellafield.

Die Ausführungen zum Platzbedarf der zurückzuführenden Abfälle sind als realistisch einzuschätzen. Von den insgesamt 840 Stellplätzen stehen 420 Stellplätze für die Zwischenlagerung von Behältern mit Wiederaufarbeitungsabfällen bzw. Brennelementen zur Verfügung. Davon werden für die Gesamtheit der Abfallströme von AREVA NC und Sellafield Ltd. 260 Stellplätze benötigt. Berücksichtigt man die bereits verfügten Plätze für Dritte (105) sowie die für die vorübergehende Einlagerung von sonstigen radioaktiven Stoffen im Lagerbereich I des TBL-A genehmigten Stellplätze (210) und die im TBL-G vorgesehenen Stellplätze (bis zu 210), werden in den zentralen Zwischenlagern nach der Einlagerung aller WA-Abfälle voraussichtlich mindestens 55 Stellplätze frei bleiben.

Der Rücklieferungszeitraum wird sich, bei einer angenommenen Behälteranzahl von 12 pro Jahr, noch bis Ende der 2030er Jahre erstrecken. Die zeitliche Entwicklung der Kapazitätsauslastung im TBL-A und TBL-G mit Abfällen aus der Wiederaufarbeitung ist in Bild 10 dargestellt.




*) Nach § 9a Abs. 2a AtG hat der Betreiber von Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität dafür zu sorgen, dass die aus der Aufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe im Ausland stammenden verfestigten Spaltproduktlösungen zurückgenommen und in standortnahen Zwischenlagern nach Absatz 2 Satz 3 bis zu deren Ablieferung an eine Anlage zur Endlagerung radioaktiver Abfälle aufbewahrt werden.

**Bild 10:** Kapazitätsauslastung im TBL-A und TBL-G

Am 28. Juni 2013 hat der Deutsche Bundestag das Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz) beschlossen, das auf der politischen Einigung von Bund, Ländern und Fraktionen/Parteien vom 9. April 2013 basiert /BMU 13/, /STA 15/. Die Einigung sieht u. a. vor, dass die Castor-Transporte nach Gorleben auf unbestimmte Zeit beendet werden. Dies impliziert Handlungsbedarf in folgenden Punkten:

- Es müssen unter Berücksichtigung verkehrstechnischer und politischer Aspekte Standorte gefunden werden, an den die AREVA NC CSD-B-Abfälle aus La Hague (5 Behälter) und die HAW-Abfälle aus Sellafield (21 Behälter) zwischengelagert werden können. Die Rückführung der Abfälle aus La Hague und aus Sellafield nach Deutschland soll frühestens 2019 beginnen.
- Am 19. Juni 2015 hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit ein Papier mit dem Titel „Rückführung der Wiederaufarbeitungsabfälle Gemeinsame Eckpunkte“ vorgelegt /BMU 15/. Dieses sieht vor, die Behälter mit den WA-Abfällen in den Standortzwischenlagern Philippsburg, Brokdorf, Biblis und Isar zwischenzulagern. Für die Aufbewahrung der Behälter an den Standorten sind atomrechtliche Änderungsgenehmigungen nach § 6 AtG zu beantragen. Für die Genehmigungsverfahren wird ein Zeitbedarf von 12 Monaten veranschlagt.
- Für das TBL Ahaus sind die Erarbeitung eines CSD-C-Rückführungskonzepts, die Entwicklung und Zulassung des CSD-C-Behälters TGC27 sowie die Genehmigungserweiterung zur Aufnahme der kompaktierten WA-Abfälle mit ausreichendem Vorlauf zur Rückführung notwendig. Aufgrund der vollständigen Überarbeitung des Behälterkonzepts wurde als gemeinsame Planungsgrundlage zwischen BMU, AGC und GNS ein Rückführungsbeginn nicht vor dem Jahr 2030 ermittelt.

## 5.4 Sonstige Abfälle aus der Kernbrennstoffentsorgung und deren Verbleib

Von der Kerntechnischen Entsorgung Karlsruhe (KTE) GmbH (ehemals WAK GmbH) wurden im Rahmen der Länderumfrage außerdem Angaben zum Bestand und Verbleib von Abfällen aus der Kernbrennstoffentsorgung, Stand 31. Dezember 2017, gemacht. Die angegebenen Abfallmengen und Lagerorte sind in Tabelle 21 zusammengestellt. Ab den 07. März 2018 gehen die 4 Kokillen die sich bereits im TBL Gorleben befinden, als auch die Kokillen welche noch aus Frankreich und Großbritannien zurückzuführen sind in das Eigentum von EnKK über (Entfelchtungsvertrag).

**Tabelle 21:** Abfälle aus der Kernbrennstoffentsorgung der KTE und deren Lagerorte

| Herkunft | Kategorie | Gebindeanzahl | Bemerkung | Status 31. Dez. 2017 |
|---|---|---|---|---|
| Aus WAA bei CEA Marcoule (KNK) | HAW | **1** (CSD-V-Kokille) TBL-G | Kokille resultiert aus Swap gegen 4,3 Kokillen in Marcoule. Kokille wurde 2011 zurückgeführt und lagert in Gorleben zusammen mit EnKK-Kokillen. | Lagerung im TBL Gorleben (Lagerkosten von ca. 1500 €/a werden erstattet). Eigentumsübernahme durch EnKK am 07.03.2018. |
| | MAW (Bitumen) | **0** (CSD-B-Kokille, urspr. ca 65 Fässer) | Swap gegen URBE[1)] in La Hague und Rückführung als Glaskokille im Rückführungsprogramm der EVU nach Gorleben geplant. Die zurückzunehmenden Abfalleinheiten (URBE) waren so niedrig, dass keine eigene WAK-Kokille zugeordnet wurde. Der WAK-Anteil ist einer EnKK-Kokille zugeschlagen worden. Finanzieller Ausgleich mit EnKK vorgesehen. | Swap ist erfolgt mit dem Verhandlungsergebnis, dass keine Kokille zurückgenommen werden muss. |
| Aus Schweden Swap[2)] La Hague (MZFR) | HAW | 1 (CSD-V-Kokille) TBL-G | Kokille wurde bereits zurückgeführt und lagert in Gorleben zusammen mit EnKK-Kokillen. | Lagerung im TBL Gorleben (Lagerkosten von ca. 1500 €/a werden erstattet). Eigentumsübernahme durch EnKK am 07.03.2018. |
| Aus Schweden Swap[2)] La Hague (MZFR) | MAW | 1 (CSD-C-Kokille) La Hague | Rückführung im Rückführungsprogramm der EVU nach Ahaus geplant. | Rückführung nicht vor 2024 geplant. Eigentumsübernahme durch EnKK am 07.03.2018. |
| | MAW (Bitumen) | **0** (CSD-B-Kokille) | Das Bitumen wurde gegen URBE geswappt. Die zurückzunehmenden Abfalleinheiten (URBE) waren so niedrig, dass keine eigene WAK-Kokille zugeordnet wurde. Der WAK-Anteil ist einer EnKK-Kokille zugeschlagen worden. Finanzieller Ausgleich mit EnKK vorgesehen. | Swap ist erfolgt mit dem Verhandlungsergebnis, dass keine Kokille zurückgenommen werden muss. |
| Aus virtueller WAA bei UKEA in Dounreay (KNK) | HAW | 1 (CSD-V-Kokille) Sellafield | Gemäß Swap-Vertrag vom November 2013 muss insgesamt nur 1 Kokille aus Sellafield anstelle der Dounreay-Abfälle zurückgenommen werden. | Rückführung im Rückführungsprogramm der EVU geplant; Zielort noch unklar wegen Aussage im StandAG (kein Gorleben mehr). Eigentumsübernahme durch EnKK am 07.03.2018. |
| WAK | HAW | 140 (VEK-Kokillen) | Die 140 VEK-Kokillen resultieren aus der Verglasung der insges. Bei der Wiederaufarbeitung in der WAK angefallenen hochaktiven Flüssigabfälle (HAWC). Die Kokillen wurden im Februar 2011 in 5 Stück CASTOR HAW 28 CG ins ZLN, Lubmin transportiert. | Langzeitzwischenlagerung im ZLN |

[1)] URBE = Unité de Résidu pour les Boues et Effluents. Die Berechnung erfolgt folgendermaßen:
(80 x α-Aktivität [TBq] + β-Aktivität [TBq]) x 1000 =1 URBE

[2)] Alt-MOX-Tausch (Tausch von MZFR-Brennelementen zur direkten Endlagerung in Schweden gegen schwedischen Abfall in La Hague)

# 6 Literatur


/ATG 17/ Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) (AtG) in der Fassung von 23.12.1959, Neufassung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das durch Artikel 3 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) geändert worden ist., zuletzt geändert 27. Juni 2017.

/ATW 18/ atw International Journal for Nuclear Power: Operating Results 2017. Hrsg.: Inforum Verlags- und Verwaltungsgesellschaft, ISSN 1431-5254, 05.2018.

/BFE 18a/ BfE: Dezentrale Zwischenlager, Standorte und Belegung. Hrsg.: Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE), Nukleare Entsorgungssicherheit, erreichbar unter https://www.bfe.bund.de/DE/ne/zwischenlager/dezentral/standorte-belegung/standorte-belegung.html, abgerufen am 5. Juni 2018.

/BFE 18b/ BfE: Transport. Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE), erreichbar unter https://www.bfe.bund.de/SharedDocs/Downloads/BfE/DE/fachinfo/ne/transportgenehmigungen.pdf?__blob=publicationFile&v=32, abgerufen am 5. Juni 2018.

/BFE 18c/ BfE: Zentrale Zwischenlager. Nukleare Entsorgung, Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE), erreichbar unter https://www.bfe.bund.de/DE/ne/zwischenlager/zentral/zentral_node.html, abgerufen am 5. Juni 2018.

/BFS 02/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Genehmigung zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen im Standort-Zwischenlager im Ortsteil Bramsche der Stadt Lingen der Kernkraftwerke Lippe-Ems GmbH. 177 S., 6. November 2002.

/BFS 07/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): BfS erteilt Änderungsgenehmigung für das Transportbehälterlager Gorleben, Pressemitteilungen. Stand vom 23. Mai 2007, erreichbar unter http://www.bfs.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/BfS/DE/2007/007.html, abgerufen am 8. Juni 2016.

/BFS 09a/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Glaskokillen im Zwischenlager Nord, Pressemitteilungen. Stand vom 24. Februar 2009, erreichbar unter http://www.bfs.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/BfS/DE/2009/010.html, abgerufen am 8. Juni 2016.

/BFS 09b/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): 6. Änderungsgenehmigung zur Aufbewahrungsgenehmigung vom 05.11.1999 für das Transportbehälterlager des Zwischenlagers Nord (ZLN) in Rubenow. Az.: SE 1.3-85375 17, 38 S.: Salzgitter, 24. Februar 2009.

/BFS 10a/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): BfS erteilt Änderungsgenehmigung für das Transportbehälterlager Gorleben, Pressemitteilungen. Stand vom 29. Januar 2010, erreichbar unter http://www.bfs.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/BfS/DE/2010/002.html, abgerufen am 8. Juni 2016.

/BFS 10b/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Regelungsgehalt der Aufbewahrungsgenehmigung für das Transportbehälterlager Gorleben vom 02.06.1995 in der Fassung der 4. Änderungsgenehmigung vom 29.01.2010, (Nicht-amtliche Lesefassung). 22 S., 29. Januar 2010.

/BFS 10c/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): 7. Änderungsgenehmigung zur Aufbewahrungsgenehmigung vom 05.11.1999 für das Transportbehälterlager des Zwischenlagers Nord (ZLN) in Rubenow. Az.: SE 1.3-85375 18, 38 S., 30. April 2010.

/BFS 15/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Stand der Genehmigungsverfahren, Informationen zum Standort Brunsbüttel (Schleswig-Holstein). Nukleare Entsorgung, Stand vom 16. November 2015, erreichbar unter http://www.bfs.de/DE/themen/ne/zwischenlager/dezentral/genehmigung/kkb.html, abgerufen am 13. Juni 2016.

/BFS 16/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Stand der Genehmigungsverfahren, Informationen zum AVR-Behälterlager bei Jülich. Nukleare Entsorgung, Stand vom 1. Februar 2016, erreichbar unter https://www.bfs.de/DE/themen/ne/zwischenlager/dezentral/genehmigung/kkj.html, abgerufen am 8. Juni 2016.

/BFS 16d/ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): 6. Änderungsgenehmigung zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen im Standort-Zwischenlager in Gemmrigheim der EnBW Kernkraft GmbH. 9. August 2016.

/BMU 13/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Bundesumweltminister Altmaier: Ein Meilenstein, um den Streit über die Kernenergie zu beenden, Pressemitteilung Nr. 042/13. Nr. 042/13: Berlin, Stand vom 24. April 2013, erreichbar unter http://www.bmub.bund.de/presse/pressemitteilungen/pm/artikel/bundesumweltminister-altmaier-ein-meilenstein-um-den-streit-ueber-die-kernenergie-zu-beenden/, 2013.

/BMU 15/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Rückführung der Wiederaufbereitungsabfälle Gemeinsame Eckpunkte. 2 S.: Berlin, 19. Juni 2015.

/BRÖ 00/ Bröskamp, H., Etzmuß, M.: Status und Perspektiven der Plutoniumverwertung in Deutschland durch den Einsatz von MOX-Brennelementen. In: Institut für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik Jülich: Workshop Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium: Jülich, 13.-14. Januar 2000, Tagungsbericht. Jülich, 13. - 14. Januar 2000, Forschungszentrum Jülich, 2000.

/BUN 00/ Deutscher Bundestag, 14. Wahlperiode: Schriftliche Fragen mit den in der Zeit vom 3. bis 14. Juli 2000 eingegangenen Antworten der Bundesregierung. Drucksache 14/3893, 84 S., 14. Juli 2000.

/BUN 09/ Deutscher Bundestag, 17. Wahlperiode: Geplante Atomtransporte zum Zwischenlager Ahaus und Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle des Versuchsreaktors AVR Jülich, Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Oliver Krischer, Sylvia Kotting-Uhl, Cornelia Behm, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. Drucksache 17/358, 8 S., 22. Dezember 2009.

/BUN 12/ Deutscher Bundestag, 17. Wahlperiode: Transport von knapp 300 000 Brennelementen vom Zwischenlager Jülich nach Ahaus, Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Oliver Krischer, Sylvia Kotting-Uhl, Hans-Josef Fell, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. Drucksache 17/9364, 8 S., 19. April 2012.

/BUN 14/ Deutscher Bundestag, 18. Wahlperiode: Transporte hochradioaktiver Brennelemente aus der Atomforschungsanlage Garching II in das Zwischenlager Ahaus, Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Hubertus Zdebel, Eva Bulling-Schröter, Caren Lay, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE - Drucksache 18/3244. Drucksache 18/3516, 4 S., 8. Dezember 2014.

/BUN 16/ Deutscher Bundestag, 18. Wahlperiode: Weiterer Umgang mit Atommüll aus den Reaktoren Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor Jülich (AVR) und Thorium-Hochtemperatur-Reaktor (THTR-300) Hamm-Uentrop, Antwort Antwort auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Sylvia Kotting-Uhl, Oliver Krischer, Annalena Baerbock, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN - Drucksache 18/7461. Drucksache 18/7641, 4 S., 19. Februar 2016.

/BUN 18/ Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit: Dezentrale Zwischenlager, Standorte und Belegung. Nukleare Entsorgung, Stand vom 5. Juni 2018, erreichbar unter https://www.bfe.bund.de/DE/ne/zwischenlager/dezentral/standorte-belegung/standorte-belegung.html, abgerufen am 5. Juni 2018.

/ENB 17/ EnBW Kernkraft GmbH, Öffentlichkeitsarbeit: Transport. erreichbar unter https://www.enbw.com/castortransport/castor-transport-auf-dem-neckar/, abgerufen 05.062018.

/FZJ 12/ Forschungszentrum Jülich (FZJ): AVR-Brennelemente: Neue Option wird geprüft, Pressemitteilungen. Jülich, Stand vom 6. Juli 2012, erreichbar unter http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Meldungen/PORTAL/DE/2012/12-07-06neue-option.html, abgerufen am 8. Juni 2016.

/FZJ 14/ Dr. Caspary: Thermisch spaltbare Isotope. E-Mail: Forschungszentrum Jülich (FZJ), 25. September 2014.

/GNS 16/ GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH: Darstellung der getroffenen Entsorgungsmaßnahmen für die nach Deutschland rückzuführenden radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente in den Anlagen der AREVA NC in La Hague (F) und der NDA in Sellafield (UK), Stand 31.12.2015. GNS B 002/2016, 16 S., 8. Januar 2016.

/GNS 18/ GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH: Darstellung der getroffenen Entsorgungsmaßnahmen für die nach Deutschland rückzuführenden radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente in den Anlagen der AREVA NC in La Hague (F) und der NDA in Sellafield (UK), Stand 31.12.2017. GNS B 004/2017, 30. Januar 2018.

/HUM 02/ Hummelsheim, K., Mester, W.: Entsorgung abgebrannter Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland, Ergebnisse der Länderumfrage vom 31.12.2001, GRS-Arbeitsbericht. Juli 2002.

/HUM 08/ Hummelsheim, K., Mester, W., Geupel, S.: Entsorgung abgebrannter Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland, Ergebnisse der Länderumfrage vom 31.12.2007, GRS-Arbeitsbericht. September 2008.

/HUM 09/ Hummelsheim, K., Mester, W., Geupel, S.: Entsorgung abgebrannter Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland, Ergebnisse der Länderumfrage vom 31.12.2008, GRS-Arbeitsbericht. September 2009.

/LBW 10/ Landtag von Baden-Württemberg, 14. Wahlperiode: Entsorgung atomarer Abfälle im Endlager Asse II und Beteiligung der Kernkraftwerksbetreiber an den Schließungs- und Sanierungskosten des Salzbergwerks, Antrag der Abg. Franz Untersteller u.a. GRÜNE und Stellungnahme des Umweltministeriums. Drucksache 14/5690, 5 S., 18. Januar 2010.

/LSH 16/ Landesportal Schleswig Holstein: Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, Keine Genehmigung für Brunsbüttel. erreichbar unter http://www.schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/V/_documents/brunsbuettel.html, abgerufen am 7. Juni 2016.

/MWE 15a/ Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen (MWEIMH NRW): Prüfung der Plausibilität des Detailkonzepts der Forschungszentrum Jülich GmbH zur Entfernung der Kernbrennstoffe aus dem AVR-Behälterlager, Zusammenfassung. 6 S., 18. Mai 2015.

/MWE 15b/ Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen (MWEIMH NRW): TÜV legt Plausibilitätsprüfung zur Entfernung der AVR-Kernbrennstoffe beim Forschungszentrum Jülich vor (inklu-

sive Zusammenfassung der Studie), Wirtschaftsminister Duin erläutert Ergebnisse vor der Endlagersuchkommission in Berlin, Pressemitteilung. Stand vom 18. Mai 2015, erreichbar unter http://www.mweimh.nrw.de/presse/pressemitteilungen/Pressemitteilungen_2015/150518_AVR-TUeV/index.php, abgerufen am 8. Juni 2016.

/MWE 16/ Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen (MWEIMH NRW): Formblätter „Entsorgungsvorsorgenachweis für bestrahlte Brennelemente“. 2 S., 15. Februar 2016.

/STA 15/ Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz - StandAG) in der Fassung von 23. Juli 2013, (BGBl. I 2013, Nr. 41, S. 2553), geändert durch Artikel 309 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl.I 2015, Nr. 35, S. 1474) (RS-Handbuch 1A-25).

/WAZ 15/ WAZ: Empörung in NRW über Atommüll aus Bayern. Stand vom 2. Juli 2015, erreichbar unter http://www.derwesten.de/politik/empoerung-in-nrw-ueber-atommuell-aus-bayern-aimp-id10840734.html, abgerufen am 7. Juni 2016.

# ANHANG A

**Besonderheiten bei der Prüfung und Auswertung der Daten der Länderumfrage vom 31. Dezember 2017 zur Entsorgungssituation der Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland**

Die im Rahmen der Auswertung festgestellten Besonderheiten werden nachfolgend zusammenfassend wiedergegeben:

- Für die Umfrage Stand 31. Dezember 2016 wurde der Umfragebogen von fünf auf vier Abfragetabellen verkürzt. Die Angaben zur MOX-Fertigung sind weggefallen.
- Für die Umfrage Stand 31. Dezember 2015 wurde bereits im Umfragebogen 1 neben den eingelagerten Brennelementen an den Standortzwischenlagern auch die dort lagernden Schwermetallmassen abgefragt. Die Schwermetallbelegungen in den Standortzwischenlagern sind jetzt explizit für jede Anlage angegeben worden. Für die Bestandsermittlung werden die Betreiberangaben verwendet. Die Angaben beziehen sich auf die Schwermetallmasse für abgebrannte Brennelemente und nicht wie bisher auf die Nominalmasse der frischen Brennelemente. Damit ist eine Abnahme der Schwermetallinventare um ca. 5 bis 6 % pro Standortlager zu verzeichnen.
- Im Jahr 2011 wurden aufgrund des Dreizehnten Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes acht Leistungsreaktoren endgültig abgeschaltet.
- Der Brennelementanfall wurde im Umfragejahr 2017 von allen Kernkraftwerken vollständig angegeben. Aufgrund der korrigierten Brennelementmassen in den Standortzwischenlagern sank 2017 gegenüber 2016 der bisherige Gesamtanfall um rund 27 Mg SM.
- Die 2011 außer Betrieb genommenen Kernkraftwerke Philippsburg 1 und Biblis Block A sind seit 2016 und Brunsbüttel seit 2017 kernbrennstofffrei. Alle bisher dort nass gelagerten Brennelemente sind in Castoren verpackt und in die Standortlager eingestellt worden.
- Hinsichtlich der Kapazität und Nutzung der Lagerbecken in den Doppelblockanlagen GKN und insbesondere KKP besteht eine Besonderheit darin, dass in diesen Anlagen auf flexible Weise Brennelemente aus Block 1 in begrenztem Umfang auch im Becken von Block 2 gelagert werden dürfen. In KKP hängt die Kapazität in Block 2 dabei nach einem Rechenverfahren von der Belegung durch KKP 1-BE ab, so dass die Lagerkapazität nicht blockspezifisch exakt anzugeben ist.

- Im Jahr 2011 wurden die letzten nach Sellafield gelieferten Brennelemente aus deutschen Leistungsreaktoren wiederaufgearbeitet. Damit gibt es keine noch nicht aufgearbeiteten Restbestände mehr. Entsprechende Abfragen werden nicht mehr durchgeführt.

- 2017 sind die letzten MOX-Brennelemente mit den restlichen 241 kg Pu-fiss im Kernkraftwerk Lingen/Emsland (KKE) eingesetzt und rezykliert worden. Damit ist die Verfolgung der Rezyklierung des Plutoniums aus der Wiederaufarbeitung abgeschlossen.

- Hinsichtlich des MOX-Einsatzes werden in der Umfrage konkrete Mengenangaben zum eingesetzten Pu-fiss im Umfragejahr gemacht. Abfragen zur Menge der im Umfragejahr im Kern befindlichen MOX-BE sowie zum Verbleib bereits entladener MOX-BE wurden allerdings 2002 im Rahmen der Umgestaltung der Abfrage aus den Umfrageformularen entfernt. Für die Umfrage Stand 31. Dezember 2013 wurde vorgeschlagen, im Umfrageformular 1 die Menge der im Standortzwischenlager befindlichen MOX-Brennelemente wieder abzufragen und im Umfrageformular 3 das voraussichtliche Jahr der Anlieferung frischer MOX-Brennelemente einzufügen. Für die Umfrage Stand 31. Dezember 2014 wurde vorgeschlagen, im Umfrageformular 3 eine Angabe zum kumulierten Einsatz von MOX-BE bzw. Pu-fiss zu ergänzen. Eine entsprechende Vorlage wurde erstellt. Von den Betreibern wurde jedoch durchweg ein Formular verwendet, das zwar Angaben zum Jahr der Anlieferung frischer MOX-Brennelemente enthält, nicht jedoch zur Menge der im Standortzwischenlager befindlichen MOX-Brennelemente und zum kumulierten Einsatz von MOX-BE bzw. Pu-fiss.

- Bei der grafischen Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Plutoniumrezyklierung wurde folgende Vorgehensweise gewählt: Für die kumulierten Mengen bis 31. Dezember 1999 liegen reaktorspezifisch Daten für die Anzahl der MOX-BE und das darin enthaltene Pu-fiss vor. Daraus lässt sich für den Zeitraum bis 2000 ein mittlerer Pu-fiss-Gehalt in den Brennelementen ermitteln (Angaben in Kilogramm Pu-fiss pro BE):

| | |
|---|---|
| KBR | 19,5 |
| KWG | 15,9 |
| KKP 2 | 17,5 |

| | |
|---|---|
| GKN I | 10,5 |
| GKN II | 24,4 |
| KRB B/C | 5,5 |

| | |
|---|---|
| KKI 2 | 24,5 |
| KWL | 1,0 |
| KRB A | 2,4 |

| | |
|---|---|
| KWO | 8,9 |
| KKU | 15,3 |
| GKN I | 10,5 |

| | |
|---|---|
| KKG | 16,3 |
| VAK | 0,3 |
| MZFR | 0,3 |

Da bis 2001 die Anzahl der eingesetzten MOX-BE abgefragt wurde, lässt sich das rezyklierte Pu-fiss jahres- und reaktorspezifisch errechnen. Seit 2003 wird die Menge des rezyklierten Pu-fiss in den jährlichen Umfragen angegeben. Für 2002 wurden die Daten auf andere Weise, z. B. durch Differenzbildung und Plausibilitätsbetrachtungen, ermittelt.

- Beim abgetrennten Uran aus der Wiederaufarbeitung gibt es keinen künftigen Anfall mehr. Der Restbestand beträgt etwa 27 Mg und wird in Sellafield zwischengelagert.

Folgende anlagenspezifische Besonderheiten wurden identifiziert:

- **KRB-B:** Der Block Gundremmingen B wurde zum 31. Dezember 2017 abgeschaltet. Für die vorliegende Umfrage zum Stichtag 31. Dezember 2017 wurde KRB-B deshalb als in Betrieb bilanziert. Die im Kern befindlichen Brennelemente wurden nicht als nicht abgebrannt gewertet.

- **KKB:** In Brunsbüttel sind die Behälter nur teilbeladen worden. So enthalten zwei in 2007 eingestellten Behälter 42 statt 52, zwei in 2016 und acht in 2017 eingestellten Behälter 48 statt 52 sowie ein in 2017 eingestellter Behälter 37 statt 52 mögliche Brennelemente pro Behälter.

  Der im Jahre 2003 vom BfS erteilte Genehmigungsbescheid für das Standortzwischenlager ist laut Urteil des OVG Schleswig und dessen Bestätigung durch das Bundesverwaltungsgericht rechtswidrig. Die zuständige Genehmigungsbehörde hat eine atomrechtliche Anordnung getroffen, mit der die Lagerung der Kernbrennstoffe im Zwischenlager bis Anfang 2018 geduldet wird. Bis dahin muss die Betreiberin des Zwischenlagers für eine genehmigte Aufbewahrung Sorge tragen. Am 16. November 2015 hat KKB eine neue Genehmigung für die Aufbewahrung beantragt.

  **KKK:** In 2016 sind acht Behältern jeweils nur 50 statt 52 Brennelemente pro Behälter eingestellt worden. In 2017 wurden 12 Behälter mit insgesamt 589 statt 624 Brennelementen beladen (vermutliches Beladeschema: 11 Behälter mit je 50 Brennelementen, sowie ein Behälter mit 39 Brennelementen).

  In Krümmel befinden sich derzeit noch 78 Einzelbrennstäbe sowie ein bestrahltes, noch zu demontierendes Brennelement mit 76 Brennstäben im Lagerbecken. Dies kann aufgrund einer geometrischen Abweichung nicht in einen CASTOR Behälter untergebracht werden. Die 154 Sonderbrennstäbe mit 0,35 Mg SM sollen in einen speziellen Köcher eingelagert und dann in einen CASTOR eingebracht werden.

  Vom Betreiber VENE wurde die zu BNFL abtransportierte Anzahl an abgebrannten Brennelementen von bisher 483 auf 503 korrigiert. Damit wurde auch die bis 2005 abtransportierte Masse von 86 auf 89 Mg SM korrigiert. Dies hat damit auch Auswirkungen auf die insgesamt zu BNFL gelieferten Brennelementmengen.

Das Kernkraftwerk Krümmel ist die einzige Anlage, die noch über Bestände an Uran aus der Wiederaufarbeitung (RepU) verfügt. Die Restbestände von 27 Mg Uran aus KKK lagern in Sellafield.

- **KKE:** Die Lagerkapazität des Standortzwischenlagers wird im Umfrageformular mit 130 Stellplätzen angegeben. Laut Genehmigung sind es 125 Stellplätze für beladene Behälter und 5 Stellplätze für leere Behälter /BUN 18/, /BFS 02/.

- **KWO:** Die 342 Brennelemente (100 Mg SM) sind 2017 vom Lagerbecken im Notstandgebäude am Standort Obrigheim in insgesamt 15 Behälter der Bauart CASTOR® 440/84 mvK verpackt und in das Standortzwischenlager Neckarwestheim transportiert worden. Der Transport erfolgte per Schiff zu jeweils drei Fahrten mit fünf Behältern über den Neckar und für die Be- und Entladung des Schiffs wurde das sog. „Roll-on/Roll-off-Verfahren“ mit einem Transportfahrzeug durchgeführt /ENB 17/. Die Lagergenehmigung in Neckarwestheim wurde am 9. August 2016 mit der 6. Änderungsgenehmigung erteilt /BFS 16d/; die entsprechende Transportgenehmigung am 16. Mai 2017 /BFE 18b/.

- **GKN I/II:** Für keinen der beiden Blöcke wurden die Kapazitäten der Zwischenlager in Anzahl BE angegeben (stattdessen 1.600 Mg SM bzw.151 Stellplätze am SZL, ca. 54 Stellplätze in Gorleben/Ahaus). Die Vorjahreswerte werden daher übernommen.

  Es sind zum Stichtag drei Brennelemente aus dem GKN I im Lagerbecken des GKN II gelagert.

  In 2017 sind fünf TN24E Behälter mit je 21 Brennelementen vom GKN II ins Standortzwischenlager eingelagert worden.

- **KWB-A und B:** Seit Ende 2016 ist Biblis-A kernbrennstofffrei. Damit wurden insgesamt 46 Behälter beladen. Ein Behälter, der sich im Erfassungszeitraum 2016 im Zwischenlager befand, enthielt drei Brennelemente sowie Sonderbrennstäbe in Köchern. Der Behälter wurde wieder entladen und die Brennelemente ins Nasslager von Biblis-B überführt und dort gelagert.

  Im Jahr 2017 wurde ein Behälter mit 15 statt 19 möglichen Brennelementen beladen.

- **KKI 2:** Abgebrannte Brennelemente sind erstmals in 2016 in einen und in 2017 in sechs TN24E Behälter eingelagert und in das Zwischenlager BELLA eingestellt worden. In den von AREVA gefertigten Behälter TN24E sind jeweils 21 Brennelemente eingebracht worden.

- **KKP 1:** In 2016 wurden 18 Behälter mit 886 statt 936 Brennelementen beladen (vermutliches Beladeschema: 17 Behälter mit je 50 Brennelementen, sowie ein Behälter mit 36 Brennelementen).
- Der Bericht zur Darstellung der getroffenen Entsorgungsmaßnahmen für die nach Deutschland zurück zu führenden radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente /GNS 18/ besagt, dass keine Änderungen im Mengengerüst vorliegen. Durch die Lagerung der 21 Behälter aus Sellafield an den vier KKW Standorten und der 5 Behälter aus La Hague in Philippsburg werden mindestens 55 Stellplätze in den zentralen Zwischenlagern Ahaus und Gorleben frei bleiben.

# ANHANG B

## Brennelementtypen

Die Tabelle B-1 gibt einen Überblick über die Brennelementtypen, die laut Länderumfrage vom 31. Dezember 2001 /HUM 02/ in den erfassten Kernkraftwerken eingesetzt werden bzw. werden sollen. Da keine neueren Angaben vorliegen, muss auch bei der Umfrage 2015 für die Ermittlung von Schwermetallmengen auf die in den Tabellen angegebenen kraftwerks-spezifischen Schwermetallmassen pro Brennelement zurückgegriffen werden. Da auch keine Angaben zur Anzahl der aktuell eingesetzten MOX-Brennelemente mehr verfügbar sind, wird in diesem Bericht von identischen mittleren Gewichten von $UO_2$- und MOX-BE ausgegangen. Da $UO_2$-BE wesentlich zahlreicher sind, wird das mittlere Gewicht der $UO_2$-Brennelemente eines Reaktors einheitlich für alle BE-Typen angesetzt.

Die Tabelle enthält in der ersten Spalte die Anlagenbezeichnung, dann folgen Brennstofftyp und die im Bericht für jeden Reaktor einheitlich verwendete Schwermetallmasse.

Eine Übersicht über die in den stillgelegten Versuchs- und Prototypreaktoren eingesetzten Brennelementtypen findet sich in /HUM 09/.

**Tabelle B-1:** Brennelementtypen in Leistungsreaktoren (laut Länderumfrage 2001)

| Anlage | Brennstofftyp | | BE-Gewicht (kg SM) | Im Bericht verwendetes BE-Gewicht [1)] |
|---|---|---|---|---|
| SWR Brunsbüttel | $UO_2$ | | 174 | **174** |
| SWR Krümmel | $UO_2$ | | 177 | **177** |
| DWR Brokdorf | $UO_2$; WAU | | 537/541/545; 541 | **541** |
| | | MOX | 528/532 | **541** |
| DWR Unterweser | $UO_2$; WAU | | 537; 540 | **538** |
| | | MOX | 530 | **538** |
| DWR Grohnde | $UO_2$ | | 545 | **545** |
| | | MOX | 532 | **545** |
| DWR Emsland | $UO_2$ | | 538 | **538** |
| | | MOX | 538 | **538** |
| DWR Biblis A/B | $UO_2$ | | 535 | **535** |
| | | MOX | 528 | **535** |
| SWR Philippsburg 1 | $UO_2$ | | 175 | **175** |
| DWR Philippsburg 2 | $UO_2$ | | 541 | **541** |
| | | MOX | 532 | **541** |
| DWR Neckarwestheim I | $UO_2$; WAU | | 361; 357 | **359** |
| | | MOX | 357 | **359** |
| DWR Neckarwestheim II | $UO_2$; WAU | | 538 | **538** |
| | | MOX | 535 | **538** |
| SWR Gundremmingen B/C | $UO_2$ | | 174 | **174** |
| | | MOX | 174 | **174** |
| SWR Isar 1 | $UO_2$ | | 172/176 | **174** |
| DWR Isar 2 | $UO_2$ | | 535 | **535** |
| | | MOX | 535 | **535** |
| DWR Grafenrheinfeld | $UO_2$ | | 537 | **537** |
| | | MOX | 533 | **537** |
| **Stillgelegte Anlagen:** | | | | |
| SWR Lingen/Emsland | $UO_2$ | | 113 | **113** |
| SWR Gundremmingen A | $UO_2$ | | 117 | **117** |
| | | MOX | 117 | **117** |
| SWR Würgassen | $UO_2$ | | 174 | **174** |
| DWR Mülheim-Kärlich | $UO_2$ | | 458 | **458** |
| DWR Stade | $UO_2$ | | 360 | **360** |
| DWR Obrigheim | $UO_2$; WAU | | 292 | **292** |
| | | MOX | 286 | **292** |
| DWR Rheinsberg | $UO_2$ | | 115 | **115** |
| DWR Greifswald (1-5) | $UO_2$ | | 115 | **115** |

[1)] Die hier angegebenen BE-Gewichte wurden verwendet, wenn die Gesamtmasse aus der BE-Anzahl berechnet werden musste. Massenangaben, die von der Behörde bzw. vom Betreiber stammen, wurden im Gegensatz dazu direkt übernommen. Dies betrifft vor allem die Angaben zu den Transportmengen zu Cogema und BNFL, sowie die in den Standortzwischenlagern eingelagerten Mengen.

# ANHANG C

## Verbleib abgebrannter Brennelemente

In den folgenden Tabellen sind die Bewegungen abgebrannter Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken zur Cogema (Tabelle C-1), BNFL (Tabelle C-2), WAK (Tabelle C-3), in die Standort- und Interimslager (Tabelle C-4) sowie zu sonstigen Entsorgungseinrichtungen (Tabelle C-5) jahresspezifisch angegeben. Die Tabelle C-6 gibt einen Überblick über den Bestand, den bisherigen Abtransport und den Gesamtanfall mit Stand 31. Dezember 2017 (angegeben als Anzahl der Brennelemente).

**Tabelle C-1:** Transporte zur Cogema (Anzahl Brennelemente)

| | Abgeliefert pro Jahr (Anzahl Brennelemente) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **<1987** | **1987** | **1988** | **1989** | **1990** | **1991** | **1992** | **1993** | **1994** | **1995** | **1996** | **1997** | **1998** | **1999** | **2000** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | **2005** | **>2005** | **Σ** |
| **KKB** | 509 | 102 | 153 | | 102 | 102 | 153 | | | 102 | | 153 | | | | 136 | 68 | 119 | | | | **1699** |
| **KKK** | | 224 | 128 | 224 | 128 | 320 | 128 | 96 | 32 | | 32 | 32 | | | | | | | | | | **1344** |
| **KBR** | | | | | | | | | | 36 | 60 | | | | | | 48 | 108 | 12 | | | **264** |
| **KKS** | 593 | 21 | 14 | 49 | 21 | 118 | | 49 | 49 | 49 | 49 | 18 | 30 | | | 62 | 77 | 84 | 126 | 52 | | **1461** |
| **KKU** | 319 | 44 | 11 | 44 | | 10 | | | | | | 20 | 36 | | | | | 12 | 48 | | | **544** |
| **KWG** | | | | | 44 | 44 | 22 | 43 | 71 | | | 36 | | | | | 60 | 72 | 60 | | | **452** |
| **KKE** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KWB A** | 375 | 66 | 33 | 55 | 54 | 33 | 77 | 22 | 44 | | | | | | | | | | | | | **759** |
| **KWB B** | 309 | 44 | 44 | 44 | 55 | 33 | 33 | 44 | 77 | | | | 44 | | | 47 | | | | | | **774** |
| **KWO** | 407 | 33 | 35 | 28 | 35 | 25 | | 21 | 21 | 20 | 30 | 54 | | | | | | | | | | **709** |
| **KKP 1** | 591 | 136 | 75 | 170 | 85 | 51 | 102 | 102 | 102 | 119 | 68 | 68 | 68 | | | 66 | 167 | 204 | | | | **2174** |
| **KKP 2** | | | 11 | 66 | | | | 55 | 55 | | | 68 | 24 | | | 60 | 24 | 24 | | | | **387** |
| **GKN I** | 427 | 49 | 45 | 49 | 35 | 40 | 49 | 49 | 28 | 70 | 56 | | | | | | | | | | | **897** |
| **GKN II** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KRB B** | 128 | 128 | 192 | 128 | 64 | 128 | 192 | | | | 96 | 22 | | | | | | | | | | **1078** |
| **KRB C** | | 192 | 128 | 96 | | | | 160 | | | | 32 | | | | | | | | | | **608** |
| **KKI 1** | 697 | 289 | | 170 | 102 | 170 | | 153 | 34 | | 136 | 119 | | | | | | | | | | **1870** |
| **KKI 2** | | | | | | | 44 | 55 | 44 | | 24 | 36 | | | | | 36 | 96 | | | | **335** |
| **KKG** | 99 | 44 | 44 | 22 | 66 | 66 | 55 | 66 | | | 57 | 66 | | | | 12 | 36 | 96 | | | | **729** |
| **KWL** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KRB A** | 588 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | **588** |
| **KWW** | 762 | 119 | 123 | 119 | 119 | | 102 | 102 | 85 | 153 | 305 | | | | | | | | | | | **1989** |
| **KMK** | | | | | | | | | | | | | | | | 72 | 137 | | | | | **209** |
| **Summe** | **5804** | **1491** | **1036** | **1264** | **910** | **1140** | **957** | **1017** | **642** | **549** | **913** | **724** | **202** | | | **455** | **653** | **815** | **246** | **52** | | **18870** |

**Tabelle C-2:** Transporte zur BNFL (Anzahl Brennelemente)

| | Abgeliefert pro Jahr (Anzahl Brennelemente) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **<1987** | **1987** | **1988** | **1989** | **1990** | **1991** | **1992** | **1993** | **1994** | **1995** | **1996** | **1997** | **1998** | **1999** | **2000** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | **2005** | **>2005** | **Σ** |
| **KKB** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKK** | | | | | | | | | | | 34 | 132 | 32 | | | | 225 | 80 | | | | **503** |
| **KBR** | | | | | | | | 12 | 48 | 12 | | 30 | | | | | | | | | | **102** |
| **KKS** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKU** | | | | 10 | 45 | 40 | 35 | 50 | 18 | 36 | 48 | 48 | 12 | | | 24 | 60 | 30 | | | | **456** |
| **KWG** | | | | | | | | | | 36 | 36 | | 12 | | | | | | | | | **84** |
| **KKE** | | | | | | | | | | 36 | 60 | 84 | 30 | | | | | | | | | **210** |
| **KWB A** | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | **40** |
| **KWB B** | | | | | | | | | | | | | | | | 12 | | | | | | **12** |
| **KWO** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKP 1** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKP 2** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **GKN I** | | | | | | | | | | | | 63 | | | | 42 | 105 | 84 | 14 | | | **308** |
| **GKN II** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KRB B** | | | | | | | | | 34 | | | | | | | | | | | | | **34** |
| **KRB C** | | | | | | | | 221 | 136 | 68 | 26 | | | | | | | | | | | **451** |
| **KKI 1** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKI 2** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKG** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KWL** | 586 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | **586** |
| **KRB A** | 162 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | **162** |
| **KWW** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KMK** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **MZFR** | 240 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | **240** |
| **VAK** | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | **1** |
| **Summe** | **1029** | | | **10** | **45** | **40** | **35** | **283** | **236** | **188** | **204** | **357** | **86** | | | **78** | **390** | **194** | **14** | | | **3189** |

**Tabelle C-3:** Transporte zur WAK (Anzahl Brennelemente)

| | Abgeliefert pro Jahr (Anzahl Brennelemente) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **<1987** | **1987** | **1988** | **1989** | **1990** | **1991** | **1992** | **1993** | **1994** | **1995** | **1996** | **1997** | **1998** | **1999** | **2000** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | **2005** | **>2005** | **Σ** |
| **KKB** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKK** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KBR** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKS** | 76 | 15 | 16 | 4 | | -55 | | | | | | | | | | | | | | | | **56** |
| **KKU** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KWG** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKE** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KWB A** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KWB B** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KWO** | 155 | -1 | | 1 | | -4 | | | | | | | | | | | | | | | | **151** |
| **KKP 1** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKP 2** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **GKN I** | 44 | 5 | 3 | | | -8 | | | | | | | | | | | | | | | | **44** |
| **GKN II** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KRB B** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KRB C** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKI 1** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKI 2** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKG** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KWL** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KRB A** | 90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | **90** |
| **KWW** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KMK** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **MZFR** | 1450 | 157 | | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | **1611** |
| **VAK** | 86 | | 24 | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | **122** |
| **Summe** | **1901** | **176** | **43** | **19** | **2** | **-67** | | | | | | | | | | | | | | | | **2074** |

Anmerkung: Nach Einstellung des Wiederaufarbeitungsbetriebs der WAK wurden die noch nicht aufgearbeiteten Brennelemente 1991 zur Cogema gebracht.

**Tabelle C-4:** Umlagerungen in Interims- und Standortzwischenlager (Anzahl Brennelemente)

| | Abgeliefert pro Jahr (Anzahl Brennelemente) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ≤2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | Σ |
| **Interimslager** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKK** | | | | | 52 | 208 | -260 | | | | | | | | | | | | **0** |
| **KWB A** | | | 76 | 114 | 19 | 19 | -228 | | | | | | | | | | | | **0** |
| **KWB B** | | | 133 | 19 | 76 | 76 | -304 | | | | | | | | | | | | **0** |
| **KKP 1** | | | | | 156 | | | -156 | | | | | | | | | | | **0** |
| **KKP 2** | | 38 | 57 | | 38 | 57 | 57 | -247 | | | | | | | | | | | **0** |
| **GKN I** | | 25 | | | | 19 | -44 | | | | | | | | | | | | **0** |
| **GKN II** | | 89 | | 171 | | 38 | -298 | | | | | | | | | | | | **0** |
| **Standortzwischenlager** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKB** | | | | | | | 104 | 84 | 104 | | | | 156 | | | | 96 | 421 | **965** |
| **KKK** | | | | | | | 312 | 208 | 208 | 156 | 104 | | | | | 104 | 400 | 589 | **2081** |
| **KBR** | | | | | | | | 114 | 19 | 95 | 19 | 19 | 38 | 95 | 95 | 57 | | 19 | **570** |
| **KKU** | | | | | | | | 19 | 38 | 38 | 38 | 19 | | | 152 | 209 | | 152 | **665** |
| **KWG** | | | | | | | 114 | | 114 | | 19 | | 95 | 76 | | 95 | 57 | | **570** |
| **KKE** | | | 19 | 152 | 114 | 114 | | 57 | | 76 | 76 | | | | | 114 | | 95 | **817** |
| **KWB A** | | | | | | | 342 | | | | | 95 | | | | 19 | 421 | -3* | **874** |
| **KWB B** | | | | | | | 342 | | 95 | | 95 | | | | | | | 319 | **851** |
| **KKP 1** | | | | | | | | 260 | 104 | 104 | 104 | | | | | | 886 | | **1458** |
| **KKP 2** | | | | | | | | 361 | | 57 | 57 | | | | | 76 | | 38 | **589** |
| **KWO** | 76 | 40 | 24 | 14 | -5 | 80 | 88 | 25 | | | | | | | | | | | **342** |
| **GKN I** | | | | | | | 44 | 76 | | 57 | 19 | 38 | | | 19 | 76 | | 76 | **405** |
| **GKN II** | | | | | | | 298 | 95 | | 38 | 57 | 57 | | | 38 | 95 | | 105 | **783** |
| **KRB B** | | | | | | | 364 | | 208 | 156 | 156 | 104 | 156 | | 52 | | 104 | 156 | **1456** |
| **KRB C** | | | | | | | | 312 | | 260 | 156 | 52 | 208 | | | | 208 | 208 | **1404** |
| **KKI 1** | | | | | | | | | 156 | | 312 | | | | | | | | **468** |
| **KKI 2** | | | | | | | | 114 | 57 | 76 | | | 57 | 114 | 57 | 19 | 21 | 126 | **641** |
| **KKG** | | | | | | | 133 | | 76 | 38 | | | 133 | 19 | | | | | **399** |
| **Summe** | **76** | **192** | **309** | **470** | **450** | **611** | **1064** | **1322** | **1179** | **1151** | **1212** | **384** | **843** | **304** | **413** | **864** | **2193** | **2301** | **15.338** |

*Entladung eines Transferbehälters mit 3 BE ins Lagerbecken von KWB B.

**Tabelle C-5:** Transporte in externe Zwischenlager, zu CLAB und zur Eurochemic (Anzahl Brennelemente)

| | Abgeliefert pro Jahr (Anzahl Brennelemente) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **<1987** | **1987** | **1988** | **1989** | **1990** | **1991** | **1992** | **1993** | **1994** | **1995** | **1996** | **1997** | **1998** | **1999** | **2000** | **2001** | **2002** | **2003** | **2004** | **2005** | **>2005** | **Σ** |
| **KKB** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKK** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KBR** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKU** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KWG** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKE** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KWB A** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KWB B** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKP 1** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKP 2** | | | | | | | | | | 9 | | | | | | | | | | | | **9** |
| **GKN I** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **GKN II** | | | | | | | | | | | | 57 | 57 | | | | | | | | | **114** |
| **KRB B** | | | | | | | | | | | | 16 | | | | | | | | | | **16** |
| **KRB C** | | | | | | | | | | | | | 156 | | | | | | | | | **156** |
| **KKI 1** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKI 2** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKG** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KWL** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KRB A** | 124 | 48 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | **188** |
| **KWW** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KMK** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KKS** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **KWO** | | 27 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | **33** |
| **MZFR** | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | **8** |
| **KNK II** | 2 | 2 | 1 | 6 | | 11 | 21 | | 8 | | | | | | | | | | | | | **51** |
| **VAK** | 128 | 64 | 48 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | **242** |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Summe** | **256** | **149** | **71** | **6** | **0** | **11** | **21** | **0** | **8** | **9** | **0** | **73** | **213** | | | | | | | | | **817** |

Gorleben
Ahaus
CLAB
Eurochemic
Sonstige

**KNK II:** Bis 1986 2 UO2-BE zu Nachbestrahlungsuntersuchungen zum KfK; 1987 2 MOX-BE zu KfK; 1988 1 MOX-BE zu KfK; 1989 1 UO2- und 5 MOX-BE zu KfK; 1991 12 UO2-BE zu CEA, 1 MOX-BE von KFK zurückgenommen; 1992 21 UO2-BE zu CEA; 1994 8 MOX-BE zu CEA; **VAK:** Bis 1986 128 BE zu Eurochemic, 1 BE zu Asea, 1 BE zu Risoe; 1987 64 MOX-BE zu CLAB; 1988 48 MOX-BE zu CLAB; **KRB A:** Die bis 1986 zu GWK gebrachten 90 BE werden der WAK zugerechnet; 124 BE zu Eurochemic; außerdem: 72 UO2-Stäbe zu GWK, 6 MOX-Stäbe zu KWU Karlstein; 1987 48 MOX-BE zu CLAB; 1988 16 MOX-BE zu CLAB; **KWO:** 27 BE 1987 zu CLAB (incl. 1 MOX-BE, das 1977 zur WAK transportiert worden war); 1988 6 MOX-BE zu CLAB; **MZFR:** 1987 8 MOX-BE zu CLAB; **KKP 2:** 1995 9 BE nach Gorleben

**Tabelle C-6:** Bestand, bisheriger Abtransport und Gesamtanfall, Stand 31. Dezember 2017 (Anzahl Brennelemente)

| | Kern | Becken | Block2 | Standort-zwischenlager | Summe Lager | Abtransport vom Standort bis 2017 | Gesamtanfall bis 2017[1)] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **In Betrieb:** | | | | | | | |
| **KBR** | 193 | 492 | | 570 | 1062 | 366 | 1428 |
| **KWG** | 193 | 466 | | 570 | 1036 | 536 | 1572 |
| **KKE** | 193 | 425 | | 817 | 1242 | 210 | 1452 |
| **KKP 2** | 193 | 527 | | 589 | 1116 | 396 | 1512 |
| **GKN II** | 193 | 409 | | 783 | 1192 | 114 | 1306 |
| **KRB B[2)]** | 784 | 2220 | | 1456 | 3676 | 1128 | 4804 |
| **KRB C** | 784 | 2074 | | 1404 | 3478 | 1215 | 4693 |
| **KKI 2** | 193 | 400 | | 641 | 1041 | 335 | 1376 |
| **Abgeschaltet:** | | | | | | | |
| **KKB** | | | | 965 | 965 | 1699 | 2664 |
| **KKK** | | 1 | | 2081 | 2082 | 1847 | 3929 |
| **KKU** | | 52 | | 665 | 717 | 1000 | 1717 |
| **KWB A** | | 0 | | 874 | 874 | 799 | 1673 |
| **KWB B** | | 190 | | 851 | 1041 | 786 | 1827 |
| **KKP 1** | | | | 1458 | 1458 | 2174 | 3632 |
| **GKN I** | | 173 | 3 | 405 | 581 | 1249 | 1830 |
| **KKI 1** | | 1734 | | 468 | 2202 | 1870 | 4072 |
| **KKG** | | 597 | | 399 | 996 | 729 | 1725 |
| **KWL** | | | | | | 586 | 586 |
| **KRB A** | | | | | | 1028 | 1028 |
| **KWW** | | | | | | 1989 | 1989 |
| **KMK** | | | | | | 209 | 209 |
| **KKS** | | | | | | 1517 | 1517 |
| **KWO** | | | | 342[2)] | 342[2)] | 893 | 1235[2)] |
| **KKR** | | | | | | 918 | 918 |
| **KGR** | | | | | | 6813 | 6813 |
| **Summe** | **2.726** | **9.760** | **3** | **15.338** | **25.101** | **30.406** | **55.507** |

[1)] Bei in Betrieb befindlichen Reaktoren ohne Kern, bei abgeschalteten Reaktoren mit Kern; KRB-B wurde zum Stichtag als in Betrieb bilanziert.
[2)] 342 BE aus dem KWO Nasslager zum Standortzwischenlager Neckarwestheim in 2017 transportiert.

## ANHANG D

**Erläuterung der Zusammenhänge zwischen den im Rahmen der Länderumfrage erfassten Parametern zur Plutoniumrückführung**

Hinsichtlich der Verwertung des bei der Wiederaufarbeitung abgetrennten Plutoniums werden im Rahmen der Länderumfrage u. a. folgende Parameter erfasst:

- **Plutonium-Bestand**

  Dieser Wert beinhaltet die bereits im Zuge der Wiederaufarbeitung abgetrennte (aber noch nicht wieder in den Reaktor zurückgeführte) Menge Plutonium (Pu-fiss) einschließlich Darlehen und Pu-fiss in unbestrahlten MOX-BE.

- **Plutonium-Restanfall**

  Dieser Wert beinhaltet die Menge Pu-fiss, die sich in bereits angelieferten, aber noch nicht wiederaufgearbeiteten Brennelementen befindet.

- **Einsatz von frischen MOX-BE im Umfragejahr**

  Dieser Wert beinhaltet die Menge Pu-fiss, welche im Umfragejahr in Form von frischen MOX-BE in deutschen Kernreaktoren eingesetzt wurde.

Die bei der Wiederaufarbeitung abgetrennte Pu-Menge vermindert den Restanfall, eine Erhöhung der Vertragsmenge würde den Restanfall erhöhen. Solange sich an den insgesamt zur Wiederaufarbeitung abzuliefernden Mengen nichts ändert, kann der Restanfall somit im Laufe der Zeit nur kleiner werden, und zwar exakt in dem Umfang, in dem Brennelemente aufgearbeitet werden.

Die kumulierte Menge des in die Reaktoren zurückgeführten Pu-fiss nimmt stetig zu. Bei unveränderter Vertragslage geschieht dies genau in dem Maße, wie sich die Summe aus Bestand und Restanfall verringert. Betrachtet man also den Wert „Bestand + Restanfall“ für zwei aufeinander folgende Jahre, so müsste theoretisch der Unterschied exakt dem in jenem Jahr in Form von MOX-BE zurückgeführtem Pu-fiss entsprechen.

Der Plutonium-Bestand nimmt langfristig ebenfalls ab, kann aber zwischendurch u. U. auch zunehmen. Er wird einerseits gespeist durch die Wiederaufarbeitung, d. h. durch die korres-

pondierende Abnahme des Restanfalls, verringert sich aber andererseits auch durch den Einsatz frischer MOX-BE.

Im Hinblick auf die Plutoniumrezyklierung werden im Rahmen der Länderumfragen die Mengen an abgetrennten Pu-fiss und die Anzahl der MOX-Brennelemente abgefragt, während die eingesetzte Schwermetallmasse in Form von MOX-BE (letzte Spalte in Tabelle 17a) rechnerisch ermittelt. Bislang wurde die Anzahl der pro Jahr und Anlage eingesetzten Brennelemente mit dem mittleren BE-Gewicht aus Tabelle B-1 multiplizier und die so erhaltenen Schwermetallmassen aufsummiert. Um dadurch entstehende Rundungsabweichungen zu minimieren, werden in diesem Bericht für die Ermittlung der Gesamtschwermetallmasse erstmals die in einer Anlage bis zum Stichtag eingesetzten MOX-BE aufsummiert und die Summe der Brennelemente mit dem mittleren BE-Gewicht multipliziert. Durch diese Berechnungsweise weichen die Daten in diesem Bericht von den Vorjahresdaten geringfügig ab.

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kernkraftwerke mit Leistungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland .....8

Tabelle 2: Bis 31. Dezember 2017 angefallene Brennelementmengen und Schwermetallmassen aus Leistungsreaktoren .....10

Tabelle 3: Zukünftig zu erwartender Brennelementanfall aus den noch in Betrieb befindlichen Leistungsreaktoren .....13

Tabelle 4: Bereits vorhandener und künftiger Brennelementanfall in Mg SM.....13

Tabelle 5: Interne Nasslagerkapazität der in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke mit Leistungsreaktoren (BE-Positionen); ohne Standortzwischenlager .....15

Tabelle 6: Belegung der Cores und interner Brennelementnasslager mit abgebrannten Brennelementen .....16

Tabelle 7: Genehmigte und in Betrieb befindliche Standortlager für abgebrannte Brennelemente aus Leistungsreaktoren, Stand 31. Dezember 2017 .....17

Tabelle 8: Lagerbestand in den Standortzwischenlagern, Stand 31. Dezember 2017 .....19

Tabelle 9: Externe Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente aus Leistungsreaktoren 23

Tabelle 10: Kapazitäten und Lagerbestände der externen Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente und verglaste HAW in Deutschland .....24

Tabelle 11: Transporte zu sonstigen ausländischen Einrichtungen bis 31. Dezember 2017 in Mg SM .....27

Tabelle 12: Entsorgung durch die WAK in Mg SM.....29

Tabelle 13: Bisheriger Abtransport abgebrannter Brennelemente aus Leistungsreaktoren in Mg SM (Stichtag 31. Dezember 2017).....30

Tabelle 14: Inventar und Entsorgungswege bestrahlter Brennelemente aus Forschungsreaktoren (Stand 31. Dezember 2016) .....31

Tabelle 15: Plutoniumbestand und Restanfall (Stand 31. Dezember 2017) ..... 34

Tabelle 16: Zeitliche Entwicklung der zu verwertenden Pu-Gesamtmenge und Vergleich mit den im jeweiligen Jahr eingesetzten Pu-fiss-Mengen ..... 36

Tabelle 17a: Abschätzung zum bisherigen Stand der Pu-Rezyklierung auf Basis der Länderumfragedaten und Betreiberangaben während des Pu-Workshops 2000 (Anzahl BE) ..... 38

Tabelle 18: Kernbrennstoffe der WAK (jetzt KTE) und deren Lagerorte, Stand 31. Dezember 2017 ..... 43

Tabelle 19: Bestand und weiterer Anfall des aus der Wiederaufarbeitung gewonnenen Urans ..... 45

Tabelle 20: Mengengerüst der von AREVA NC und Sellafield Ltd. zurückzuliefernden Abfälle ..... 48

Tabelle 21: Abfälle aus der Kernbrennstoffentsorgung der KTE und deren Lagerorte ..... 54

Tabelle B-1: Brennelementtypen in Leistungsreaktoren (laut Länderumfrage 2001) ..... 67

Tabelle C-1: Transporte zur Cogema (Anzahl Brennelemente) ..... 69

Tabelle C-2: Transporte zur BNFL (Anzahl Brennelemente) ..... 70

Tabelle C-3: Transporte zur WAK (Anzahl Brennelemente) ..... 71

Tabelle C-4: Umlagerungen in Interims- und Standortzwischenlager (Anzahl Brennelemente) ..... 72

Tabelle C-5: Transporte in externe Zwischenlager, zu CLAB und zur Eurochemic (Anzahl Brennelemente) ..... 73

Tabelle C-6: Bestand, bisheriger Abtransport und Gesamtanfall, Stand 31. Dezember 2017 (Anzahl Brennelemente) ..... 74

## Bilderverzeichnis

Bild 1: Zeitliche Entwicklung der installierten elektrischen Kernkraftwerksleistung.....9

Bild 2: Zeitlicher Verlauf des kumulierten Schwermetallmassenanfalls.....11

Bild 3: Bis 31. Dezember 2017 kumulierte Schwermetallmassenanfall pro Reaktor.....12

Bild 4: Kapazität und Belegung der Standortzwischenlager, GNK-1/2 beinhaltet 100 Mg SM aus KWO, Stand 31. Dezember 2017 .....19

Bild 5: Zeitlicher Verlauf der Transportmengen zur Cogema .....26

Bild 6: Zeitlicher Verlauf der Transportmengen zur BNFL.....28

Bild 7: Bisheriger MOX-Einsatz und Plandaten.....40

Bild 8: Bisherige Pu-fiss-Rezyklierung und Plandaten .....41

Bild 9: Bereits erfolgte Rezyklierung von Pu-fiss im Vergleich zu Plandaten.....42

Bild 10: Kapazitätsauslastung im TBL-A und TBL-G.....52

## Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| AVR | Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor, Jülich |
| BEG | GNS-Werk Gorleben (früher: BLG Brennelementlager Gorleben) |
| BfE | Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit |
| BfS | Bundesamt für Strahlenschutz |
| BMU | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit |
| BN | Belgonucléaire |
| BNFL | British Nuclear Fuels plc |
| BNG | British Nuclear Group (BNFL Tochtergesellschaft) |
| BZA | Brennelement-Zwischenlager Ahaus GmbH |
| CEA | Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives |
| CLAB | Centralt Mellanlager för använt Kärnbränsle |
| COGEMA | Compagnie Générale des Matières Nucléaires |
| CSD-B | Colis Standard des Déchets Boues |
| CSD-C | Colis Standard des Déchets Compactés |
| CSD-V | Colis Standard des Déchets Vitrifiés |
| DWR | Druckwasserreaktor |
| EKK | E.ON Kernkraft GmbH |
| EnKK | EnBW Kernkraft GmbH |
| ERU | Enriched Reprocessed Uranium |
| FANP | Framatome ANP |
| FR 2 | Forschungsreaktor 2, Karlsruhe |
| GKN I | Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar, Block 1 |
| GKN II | Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar, Block 2 |
| GKSS | Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH |
| GNS | Gesellschaft für Nuklear-Service mbH |
| HAW | High Active Waste |
| HDB | Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe |
| HDR | Heißdampfreaktor, Großwelzheim |
| HEU | HTR-Brennstoff mit hochangereichertem Uran |
| HTR | Hochtemperaturreaktor |
| INS | International Nuclear Services Limited |
| ITU | Institut für Transurane, Karlsruhe |
| KBR | Kernkraftwerk Brokdorf |
| KFA | Kernforschungsanlage Jülich |

| | |
|---|---|
| KGR | Kernkraftwerk Greifswald |
| KKB | Kernkraftwerk Brunsbüttel |
| KKE | Kernkraftwerk Emsland, Lingen |
| KKG | Kernkraftwerk Grafenrheinfeld |
| KKI 1 | Kernkraftwerk Isar, Block 1 |
| KKI 2 | Kernkraftwerk Isar, Block 2 |
| KKK | Kernkraftwerk Krümmel |
| KKN | Kernkraftwerk Niederaichbach |
| KKP 1 | Kernkraftwerk Philippsburg, Block 1 |
| KKP 2 | Kernkraftwerk Philippsburg, Block 2 |
| KKS | Kernkraftwerk Stade |
| KKU | Kernkraftwerk Unterweser |
| KMK | Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich |
| KNK | Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage, Karlsruhe |
| KKR | Kernkraftwerk Rheinsberg |
| KRB A | Kernkraftwerk Gundremmingen, Block A |
| KRB B | Kernkraftwerk Gundremmingen, Block B |
| KRB C | Kernkraftwerk Gundremmingen, Block C |
| KTE | Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe GmbH |
| KWB A | Kernkraftwerk Biblis, Block A |
| KWB B | Kernkraftwerk Biblis, Block B |
| KWG | Gemeinschaftskernkraftwerk Grohnde |
| KWL | Kernkraftwerk Lingen |
| KWO | Kernkraftwerk Obrigheim |
| KWW | Kernkraftwerk Würgassen |
| LEU | HTR-Brennstoff mit niedrigangereichertem Uran |
| LWR | Leichtwasserreaktor |
| MAW | Medium Active Waste |
| MELUR | Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein |
| MOX | Mischoxid-Brennstoff |
| MWEIMH | Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen |
| MZFR | Mehrzweck-Forschungsreaktor, Karlsruhe |
| NCS | Nuclear Cargo + Servive GmbH |
| NDA | Nuclear Decommissioning Authority |

| | |
|---|---|
| RFR | Rossendorfer Forschungsreaktor |
| RepU | Reprocessed Uranium (Uran aus der Wiederaufarbeitung) |
| SKB | Svensk Kärnbränslehantering AB |
| SL | Sellafield Ltd. |
| SNEAK | Schnelle Nullenergie-Anordnung Karlsruhe |
| SNR-300 | Schneller Natriumgekühlter Reaktor, Kalkar |
| SWR | Siedewasserreaktor |
| TBL-A | Transportbehälterlager Ahaus (früher: BZA Brennelement-Zwischenlager Ahaus) |
| TBL-G | Transportbehälterlager Gorleben (früher: BLG Behälterlager Gorleben) |
| THTR-300 | Thorium-Hochtemperatur-Reaktor, Hamm-Uentrop |
| TW | Technical Waste |
| UKAEA | United Kingdom Atomic Energy Authority |
| $UO_2$ | Brennstoff auf $UO_2$-Basis mit angereichertem Natururan |
| VAK | Versuchsatomkraftwerk Kahl |
| VENE | Vattenfall Europe Nuclear Energy GmbH |
| WAK | Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe |
| WAU | Brennstoff auf $UO_2$-Basis mit wiederaufgearbeitetem Uran (auch als RepU bezeichnet) |
| ZAB | Zwischenlager für abgebrannte Brennstoffe, Greifswald |
| ZLN | Zwischenlager Nord, Greifswald |