

Geschäftsstelle

Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

Arbeitsgruppe 2
Evaluierung

**Bericht des BMUB zur Entsorgung bestrahlter Brennelemente aus
Forschungs-, Versuchs- und Demonstrationsreaktoren**
Vorgelegt in der 9. Sitzung der Arbeitsgruppe 2 am 7. September 2015

<p>Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe K-Drs. /AG2-19</p>

Geschäftsstelle

Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

Arbeitsgruppe 2
Evaluierung

Bericht des BMUB

zur Entsorgung bestrahlter Brennelemente aus Forschungs-, Versuchs-
und Demonstrationsreaktoren

Vorgelegt in der 9. Sitzung der Arbeitsgruppe 2 am 7. September 2015

<p>Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe K-Drs. /AG2-19</p>

Bericht zur Entsorgung bestrahlter Brennelemente aus Forschungs-, Versuchs- und Demonstrationsreaktoren

I Zusammenfassung

In der Vergangenheit wurden bestrahlte Brennelemente, zum Teil auch Fertigungsrestmengen und nicht mehr benötigte Brennelemente aus Forschungs-, Versuchs- und Demonstrationsreaktoren in der Regel zur Wiederaufarbeitung in die USA, nach Frankreich und in das Vereinigte Königreich verbracht. Aus Frankreich und dem Vereinigten Königreich wurden die aus der Wiederaufarbeitung resultierenden radioaktiven Abfälle in der Regel zurückgeführt bzw. werden noch zusammen mit den radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung der Leistungsreaktoren zurückgeführt. Bei bestrahlten Brennelementen, die in die USA verbracht wurden, fand ein Eigentumsübergang statt, d.h. Abfälle aus der Wiederaufarbeitung wurden nicht zurückgeführt.

Bestrahlte Brennelemente aus dem Rossendorfer Forschungsreaktor (RFR) und aus dem Hochtemperaturreaktor THTR-300¹ lagern im Transportbehälterlager Ahaus (TBL-A); die Brennelemente aus dem Hochtemperaturreaktor AVR² im Behälter-Zwischenlager in Jülich. Im Verfahren zur Entfernung der AVR-Brennelemente aus dem AVR-Behälterlager wird neben der Variante des Transports in das TBL-A unter anderem die Möglichkeit einer Verbringung in die USA zur schadlosen Verwertung geprüft. Darüber hinaus werden nicht wiederaufarbeitbare Brennstäbe aus dem KNK³ II und bestrahlte bzw. unbestrahlte Brennstäbe aus dem Reaktorschiff Otto Hahn im Zwischenlager Nord (ZLN) gelagert.

Für die in Betrieb befindlichen Forschungsreaktoren in Berlin, Mainz und München

¹ Thorium-Hoch-Temperatur-Reaktor Hamm-Uentrop

² Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor Jülich

³ Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage Karlsruhe

sind unterschiedliche Optionen vorgesehen. Für die bestrahlten Brennelemente aus Mainz und München ist eine Zwischenlagerung in Deutschland vorgesehen, für den Forschungsreaktor Berlin besteht für bestrahlte Brennelemente, die bis Mai 2016 anfallen, die Option einer Verbringung in die USA bis Mai 2019.

II Forschungs-, Versuchs- und Demonstrationsreaktoren

Die noch in Betrieb befindlichen Forschungsreaktoren dienen heute nicht mehr der Erforschung und Entwicklung der Kerntechnik zur Energieerzeugung. Die in Forschungsreaktoren erzeugten Neutronen werden insbesondere bei der Untersuchung kondensierter Materie in der Festkörperphysik, Chemie und Biologie, innerhalb der Geo- und Materialwissenschaften sowie der Kernphysik, aber auch der Informationstechnologie, Industrie und den Gesundheitswissenschaften genutzt (Untersuchung von Proteindynamiken und Zellstrukturen). Bei der medizinischen Nutzung kommen Neutronen etwa bei der Krebstherapie zum Einsatz. Darüber hinaus spielen die wenigen in Europa verbliebenen Neutronenflussquellen bei der Herstellung von Molybdän-99 und weiterer Radioisotope eine besondere Rolle. Bei der Versorgung mit dem nuklearmedizinisch wichtigen Radioisotop Molybdän-99 (z.B. bei Szintigraphien) besteht weltweit ein Engpass.

In Deutschland werden derzeit noch sieben Forschungs- und Unterrichtsreaktoren betrieben: ein Materialtestreaktor (MTR, BER⁴ II, Berlin), ein Hochflussreaktor (FRM⁵ II, München), ein TRIGA⁶-Reaktor (FRMZ⁷, Mainz) und vier Ausbildungs- bzw. Unterrichtsreaktoren, davon drei Siemens-Unterrichtsreaktoren (SUR) und ein Ausbildungskernreaktor (AKR-2).

- **BER-II (Berlin):** Der Forschungsreaktor erreichte seine erste Kritikalität im Jahr 1973. Der Betreiber des BER II, das Helmholtz-Zentrum Berlin, hat im Juni 2013 entschieden, die Anlage am 31. Dezember 2019 abzuschalten.
- **FRM II (München):** Die Hochfluss-Neutronenquelle erreichte ihre erste Kriti-

⁴ Berliner Experimentier-Reaktor

⁵ Forschungsreaktor München

⁶ Training, Research, Isotopes, General Atomic

⁷ Forschungsreaktor Mainz

kalität im Jahr 2004. In Kürze wird am FRM II die Produktion des Radioisotopes Molybdän-99 aufgenommen. Eine Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und der Bayrischen Staatsregierung aus dem Jahre 2010 sieht eine Umrüstung des Forschungsreaktors im Hinblick auf die Verwendung eines Brennstoffs mit einem niedrigeren Urananreicherungsgrad (unterhalb 50 % Uran-235) anstatt des derzeit verwendeten hochangereicherten Uran (93 % Uran-235) bis Ende des Jahres 2018 vor, sofern dies nach dem Stand von Wissenschaft und Technik möglich ist. Die hierfür notwendige Entwicklung eines hochdichten Brennstoffs ist Gegenstand nationaler und internationaler Forschung.

- **FRMZ (Mainz):** Der TRIGA-Reaktor erreichte im Jahr 1965 seine erste Kritikalität. Er soll nach Planung der Betreiberin Uni Mainz (Institut für Kernchemie) bis mindestens zum Jahr 2020 betrieben werden.
- **AKR-2** (Dresden) und **SUR** (Stuttgart, Ulm und Furtwangen): In den 1960er und 1970er Jahren wurden in der Bundesrepublik Deutschland insgesamt zwölf SUR und in der ehemaligen DDR ein AKR installiert. Bei den SUR und dem AKR handelt es sich um Nullleistungsreaktoren (thermische Leistung kleiner ein Watt), die mit kleiner 20% angereichertem Uranoxid (in Polyethylen dispergiert) betrieben werden bzw. wurden. Ein Kern dieser Reaktoren besteht aus rund zehn Brennstoffplatten. Momentan sind die SUR in Stuttgart, Ulm und Furtwangen sowie der Ausbildungskernreaktor in Dresden in Betrieb.

Eine Übersicht über die endgültig abgeschalteten und in Stilllegung befindlichen Forschungsreaktoren befindet sich im Anhang. Neben Forschungs- und Unterrichtsreaktoren wurden in der Bundesrepublik Deutschland acht Versuchs- und Demonstrationsreaktoren betrieben, die sich alle in Stilllegung befinden oder bereits vollständig rückgebaut sind: AVR (Jülich), THTR-300 (Hamm-Uentrop), MZFR⁸ (Karlsruhe), KNK II (Karlsruhe), VAK⁹ (Kahl), KKN¹⁰ (Niederaichbach), HDR¹¹ (Großwelzheim) und Nuklearschiff Otto Hahn (Geesthacht). Der Status dieser Reaktoren ist anhand der tabellarischen Angaben im Anhang ersichtlich.

⁸ Mehrzweckforschungsreaktor Karlsruhe

⁹ Versuchsatomkraftwerk Kahl

¹⁰ Kernkraftwerk Niederaichbach

¹¹ Heißdampfreaktor Großwelzheim

III Aktueller Stand der Brennelemententsorgung

Die SUR-Reaktoren werden im Nullleistungsbetrieb betrieben, so dass praktisch keinen Abbrand gibt und praktisch keine Spaltprodukte entstehen. Das Polyethylen der SUR-Brennstoffplatten (aus Reaktoren in Aachen, Berlin, Bremen, Darmstadt, Hamburg, Hannover, Karlsruhe, Kiel und München) wurde im Institut für Radiochemie der TU München verascht. Das dabei resultierende Uranoxid wurde für die Herstellung von Brennelementen für Leistungsreaktoren verwertet. Der Brennstoff der verbleibenden Unterrichtsreaktoren könnte grundsätzlich in der gleichen Weise verwertet werden. Die SUR-Reaktoren werden in diesem Bericht daher nicht weiter betrachtet.

III.1 Forschungsreaktoren

Im Rahmen der Nichtverbreitungspolitik konnten bis Anfang der 1990er Jahre bestrahlte Brennelemente aus Forschungsreaktoren in die USA als deren Herkunftsland verbracht werden. Dieser Weg war mit einem vollständigen Eigentumsübergang verbunden, d.h. es bestand keine Verpflichtung zur Rücknahme von radioaktiven Abfällen.

Bei folgenden Reaktoren wurde dieser Weg nicht beschritten:

- Die Brennelemente der Reaktoren des Forschungszentrums Rossendorf der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik (RRR¹², RAKE¹³ und RFR) lagern in 18 Behältern der Bauart CASTOR[®] MTR 2 im TBL-A (Herkunft der Brennelemente: Russland).
- Der TRIGA-Reaktor der Universität Mainz hat einen Lebenszeitkern und ist derzeit noch in Betrieb. Daher wurde der Großteil der Brennelemente noch nicht entsorgt.

Anfang der 1990er Jahre waren die USA nicht mehr länger bereit, bestrahlte Brennelemente aus Forschungsreaktoren im Ausland anzunehmen. Aus diesem Grunde transportierten die Technische Universität München, das Forschungszentrum Jülich, die Gesellschaft für Kernenergieverwertung im Schiffbau und Schifffahrt mbH (GKSS) in Geesthacht (heute Helmholtz-Zentrum Geesthacht - Zentrum für Material- und Küstenerforschung GmbH) und das Hahn-Meitner-Institut Berlin (heute Helmholtz-Zentrum

¹² Rossendorfer Ringzonenreaktor

¹³ Rossendorfer Anordnung für kritische Experimente

Berlin) bestrahlte Brennelemente zu den Anlagen der United Kingdom Atomic Energy Authority (UKAEA) nach Dounreay, Schottland, mit dem Ziel der Wiederaufarbeitung. Die Verträge enthielten die Verpflichtung zur Rücknahme der Wiederaufarbeitungsabfälle innerhalb von 25 Jahren nach Abschluss der Wiederaufarbeitungs-Kampagne.

Die Rücknahme dieses Materials wird nicht weiter verfolgt. Vertraglich wurde geregelt, dass der Wiederaufarbeitungsabfall aus den Forschungsreaktoren in Dounreay verbleibt. Im Gegenzug wird dafür eine verglaste Kokille (Haupteigner ist die WAK¹⁴) mit noch im Vereinigten Königreich lagerndem Abfall aus der Wiederaufarbeitung der Energieversorgungsunternehmen nach Deutschland zurückgeführt.

Die USA erklärten sich im Mai 1996 bereit, befristet für zunächst zehn Jahre, wieder bestrahlte Brennelemente aus Forschungsreaktoren im Rahmen eines Eigentumsübergangs anzunehmen. Die Annahmefähigkeit war an die folgenden Bedingungen geknüpft:

- lediglich Annahme von Kernbrennstoffen aus US-Produktion,
- die Bereitschaft den Reaktor, dessen Brennelemente entsorgt werden sollen, auf schwach angereichertes Uran (LEU – **l**ow-**e**nriched **u**ranium) umzustellen oder abzuschalten und
- der entsprechende Reaktor war im Jahr 1996 bereits in Betrieb.

Im Jahr 2006 wurde die Bereitschaft der USA zur Annahme bestrahlter Forschungsreaktor-Brennelemente um weitere zehn Jahre, d.h. bis Mai 2016 (Bestrahlungsende) bzw. bis Mai 2019 (spätester Transporttermin), verlängert.

BER-II (Berlin): Bislang wurden die bestrahlten Brennelemente in eine Einrichtung des Department of Energy der Vereinten Staaten von Amerika (US-DOE) und nach Dounreay, Schottland verbracht. Im Zeitraum seit dem Jahr 2004 hat es vier Abtransporte von je 33 Brennelementen gegeben, am 15. Juli 2004, am 29. August 2008, am 24. Juli 2012 und am 29. Juli 2015. Derzeit lagern 27 Brennelemente mit rund 37

¹⁴ Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe

kg Schwermetall (SM) am BER-II. Es ist vorgesehen diese Brennelemente ebenfalls in die USA zu verbringen.

FRM-II (München): Zum Stichtag 31. Dezember 2014 befanden sich 35 bestrahlte Brennelemente mit 243,5 kg Uran am FRM-II in München. Für den FRM-II steht die Verbringung in die USA nicht offen. Die Voraussetzungen für eine Zwischenlagerung der bestrahlten Brennelemente im TBL-A werden derzeit geschaffen. Am 30. September 2014 hat die Gesellschaft für Nuklearservice mbH (GNS) die Wiederaufnahme des § 6 AtG-Genehmigungsverfahrens zur Aufbewahrung von bestrahlten FRM-II-Brennelementen beantragt. Die Erteilung der Aufbewahrungsgenehmigung für das TBL-A ist für das Jahr 2018 geplant. Im Normalbetrieb fallen pro Jahr bis zu vier bestrahlte Brennelemente an. Da das Lagerbecken eine genehmigte Kapazität von 50 Brennelementen hat, wäre das Becken im Jahr 2018 vollständig ausgelastet.

FRMZ (Mainz): Mit Stand vom 31. Dezember 2014 lagerten vier ausgediente Brennelemente mit 764 g Uran am TRIGA-Reaktor in Mainz. Der TRIGA-Reaktor soll nach heutiger Planung bis mindestens 2020 betrieben werden. Der Reaktor hat einen Lebenszeitkern, d.h. nahezu alle Brennelemente sind seit Betriebsbeginn im Jahr 1965 im Kern eingesetzt und werden gemeinsam im Rahmen der Stilllegung entsorgt. Der Abbrand pro Brennelement beträgt etwa 4 g pro Jahr. Alle vier bis fünf Jahre wird ein neues TRIGA-Brennelement in den Kern eingesetzt. Insgesamt sind in der Reaktoranlage 89 Brennelemente vorhanden. Es ist beabsichtigt, die bestrahlten Brennelemente bis zu ihrer Endlagerung im TBL-A zwischenzulagern.

FRB¹⁵ (Braunschweig), FRJ-1¹⁶ und FRJ-2¹⁷ (Jülich) sowie FRG¹⁸-1 und FRG-2 (Geesthacht): Die Brennelemente aus den rückgebauten Forschungsreaktoren FRB und FRJ-1 sowie dem sich zurzeit im Rückbau befindlichen FRJ-2 und den noch rückzubauenden FRG-1 und FRG-2 wurden in die USA und nach Dounreay, Schottland verbracht.

¹⁵ Forschungsreaktor Braunschweig der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB)

¹⁶ Forschungsreaktor Jülich-1 (MERLIN)

¹⁷ Forschungsreaktor Jülich-2 (DIDO)

¹⁸ Forschungsreaktor Geesthacht

RFR (Rossendorf): Die Brennelemente des RFR bei Dresden befinden sich in der Zwischenlagerung im TBL-A. Insgesamt lagerten etwa 2,3 Mg bestrahlte Brennelemente des Vereins für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf (VKTA) zum 31. Dezember 2014 in 18 CASTOR[®] MTR 2-Behältern im TBL-A.

III.2 Versuchs- und Demonstrationsreaktoren

Das ehemalige Kernforschungszentrum Karlsruhe hatte mit UKAEA (Vereinigtes Königreich) zwischen den Jahren 1989 und 1996 Verträge zur Wiederaufarbeitung von bestrahlten und unbestrahlten Kernbrennstoffen in Dounreay abgeschlossen. Es handelte sich im Wesentlichen um den dritten nicht mehr eingesetzten KNK II Kern (siehe auch Anmerkungen unter KNK-II), Reste aus der MOX¹⁹-Fertigung in Hanau, um Brennstäbe und Fertigungsreste aus den Demonstrationsreaktoren MZFR und SNEAK²⁰ sowie des Forschungsreaktors FR-2²¹. Insgesamt wurden zwischen den Jahren 1993 und 1998 1,8 Mg SM nach Dounreay geliefert.

Weitere Fertigungsrestmengen für den KNK, die noch in Hanau lagerten und nicht mehr in das Vereinigte Königreich transportiert werden konnten, wurden in die staatliche Verwahrung übernommen. Die KNK-Brennstoffrestmengen wurden im Rahmen des Leerfahrprogramms der staatlichen Verwahrung in Hanau zu 729 Lagerstäben verarbeitet. Mit der Räumung der staatlichen Verwahrung wurden neben den KNK-Lagerstäben auch die SNR²²-Brennelemente in den Jahren 2004 und 2005 nach Frankreich zur Wiederaufarbeitung in La Hague geliefert.

SNR 300: Der fertig gestellte Schnelle Brüter SNR 300 wurde nie mit Brennelementen beladen. Die Gesamtmenge der unbestrahlten Brennelemente des SNR betrug 10,3 Mg SM und wurde zur Wiederaufarbeitung nach Frankreich, La Hague, gebracht.

HDR: Der Heißdampfreaktor Großwelzheim war ein Versuchskernkraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 25 MW. Der Prototyp-Siedewasserreaktor, der überhitzten

¹⁹ Mischoxid; MOX-Brennelemente enthalten neben Uranoxid ein weiteres Oxid. Meist handelt es sich um Plutoniumdioxid, seltener um Thoriumdioxid.

²⁰ Schnelle Nullenergie-Anordnung Karlsruhe

²¹ Forschungsreaktor 2 Karlsruhe

²² Schneller Natriumgekühlter Reaktor Kalkar

Dampf erzeugen sollte, ging im Jahr 1969 in Betrieb und wurde bereits eineinhalb Jahr später abgeschaltet aufgrund konstruktiver Mängel der Brennelemente. Der gesamte Kern wurde in der WAK wiederaufgearbeitet.

AVR: Der Hochtemperaturreaktor AVR in Jülich war in den Jahren von 1966 bis 1988 in Betrieb. Die AVR-Brennelementkugeln lagern im AVR-Behälterlager in Jülich. In 152 Behältern werden rund 290.000 Brennelementkugeln mit 1,9 Mg SM (einschließlich Thorium) aufbewahrt. Am 2. Juli 2014 hat das Land Nordrhein-Westfalen als atomrechtliche Aufsichtsbehörde nach § 19 Abs. 3 AtG angeordnet, dass die AVR-Brennelemente unverzüglich aus dem AVR-Behälterlager zu entfernen sind. Das Forschungszentrum Jülich (FZJ) prüft dazu derzeit drei Optionen (Verbringung in die USA, Verbringung in das TBL-A und Neubau eines Zwischenlagers am Standort in Jülich).

THTR-300: Der Thorium-Hochtemperatur-Reaktor THTR-300 war ein heliumgekühlter Hochtemperaturreaktor (HTR) in Hamm-Uentrop mit einer elektrischen Leistung von 300 MW. Nachdem am Versuchsreaktor AVR (Jülich) das Funktionsprinzip des HTR in Kugelhaufen-Bauweise erprobt worden war, wurde mit dem THTR-300 eine Demonstrationsanlage gebaut. Er wurde im Jahr 1983 testweise in Betrieb genommen, im Jahr 1987 an den Betreiber übergeben und im September 1989 aufgrund von wiederholten technischen Problemen endgültig abgeschaltet. Derzeit befindet er sich im sicheren Einschluss. Die THTR-Brennelementkugeln befinden sich im TBL-A in 305 Behältern. Zusätzlich wurden rund 350.000 frische Brennelemente in Dounreay (Schottland) aufgearbeitet.

MZFR: Insgesamt wurden 1.859 Brennelemente des MZFR Karlsruhe entsorgt. Davon wurden 192 Brennelemente (10,6 Mg SM) zur Wiederaufarbeitung in das Vereinigte Königreich verbracht, acht Brennelemente (0,4 Mg SM) wurden im Tausch gegen schwedische Brennelemente, die in La Hague wiederaufgearbeitet wurden, zum Verbleib ins schwedische Zwischenlager CLAB²³ verbracht. Die daraus entstandenen Abfälle sind zum Teil bereits als verglaste hochradioaktive Abfälle, bzw. werden noch

²³ Centralt mellanlager för använt kärnbränsle (engl.: Central holding storage for spent nuclear fuel)

in Form von hochdruckkompaktierten Abfällen, zurückgeführt. Der größte Teil der angefallenen Brennelemente (1.659 Brennelemente; 89,6 Mg SM, davon 0,36 Mg Pu) wurde in der WAK wiederaufgearbeitet.

KNK II: Die bestrahlten Brennelemente des KNK II wurden zur Wiederaufarbeitung an das Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) nach Marcoule (Frankreich) abgegeben, nachdem sie vorher in den Heißen Zellen des Kernforschungszentrums Karlsruhe deassembliert und die Brennstäbe in Büchsen verpackt worden waren. Insgesamt wurden 9.602 bestrahlte Brennstäbe abgegeben, von denen 2.413 aufgrund der Schwerlöslichkeit des Brennstoffes nicht wiederaufgearbeitet werden konnten. Die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung sind zum Teil bereits als verglaste hochradioaktive Abfälle, bzw. werden noch in Form von hochdruckkompaktierten Abfällen, zurückgeführt. Die Lagerung der nicht aufgelösten Brennstäbe erfolgte in Cadarache. Diese wurden im Dezember 2010 in vier Behältern des Typs CASTOR[®] KNK zurück nach Deutschland zur Zwischenlagerung in das ZLN transportiert. Insgesamt lagern 0,5 Mg SM aus dem KNK II im ZLN. Im Jahr 1991 wurde der KNK II stillgelegt. Der dritte, nicht mehr eingesetzte KNK II Kern wurde zur Verwertung nach Dounreay gebracht.

VAK: Aus dem VAK in Kahl wurde eine Gesamtmenge von 7,5 Mg SM zur Wiederaufarbeitung ins Ausland verbracht. Davon gingen 7,4 Mg SM zur Eurochemic nach Belgien und 0,1 Mg SM gingen entweder zu CEA nach Cadarache (Frankreich) oder zu BNFL²⁴ (Vereinigtes Königreich). Ansonsten wurden etwa 7,06 Mg SM (davon 0,03 Mg Pu) zur WAK, 6,5 Mg SM ins CLAB (Schweden), 0,06 Mg SM nach Asea (Schweden) und 0,06 Mg SM nach Risø (Dänemark) verbracht. Rücknahmeverpflichtungen bestehen nicht.

KKN: Rund 46,3 Mg SM aus dem KKN wurden zur Wiederaufarbeitung nach Cadarache zu CEA verbracht.

Reaktorschiff Otto Hahn: Die Brennelemente des Nuklearschiffs Otto Hahn wurden bis auf 49 bestrahlte und drei unbestrahlte Brennstäbe bis Herbst 1979 zur Wie-

²⁴ British Nuclear Fuels Limited

deraufarbeitung zur WAK verbracht. Diese 52 Brennstäbe verblieben zunächst bei dem ehemaligen Betreiber des Schiffs und wurden im Juli 2010 in das französische Forschungszentrum des CEA in Cadarache transportiert, um von dort im Dezember 2010 im Rahmen des KNK-Rücktransportes aus Cadarache in das ZLN verbracht zu werden.

IV Prognose über anfallende Mengen an Brennelementen

BER-II (Berlin): Bei unterbrechungsfreiem Betrieb fallen am BER-II pro Jahr etwa 12 bis 14 bestrahlte Brennelemente an. Ein solches Brennelement enthält etwa 12 g Plutonium. Zusätzlich zu den derzeit lagernden 27 Brennelementen ergeben sich daher voraussichtlich bis zur Stilllegung des BER-II Ende des Jahres 2019 etwa 60 bis 70 Brennelemente sowie der Kern mit 30 Brennelementen, die zu entsorgen sind. Für diese Brennelemente werden zur Entsorgung Behälter der Bauart CASTOR[®] MTR 2 mit einem Fassungsvermögen von 33 Brennelementen benutzt. Am BER-II würden daher bis zur Stilllegung noch vier dieser Behälter benötigt.

FRM-II (München): Die Brennelemente des FRM-II werden in CASTOR[®] MTR 3 Behältern mit einer Kapazität von fünf Brennelementen transportiert. Bei einer Laufzeit von 40 Betriebsjahren fallen rund 30 Behälter mit bestrahlten Brennelementen an, die in das TBL-A verbracht werden sollen.

FRMZ (Mainz): Der TRIGA-Reaktor soll nach heutiger Planung bis mindestens zum Jahr 2020 betrieben werden. Die derzeit in der Reaktoranlage befindlichen Brennelemente sind für diesen Zeitraum ausreichend. Die Ausführung eines Transport- und Lagerbehälters ist noch offen. Aufgrund der Dimensionen der Brennelemente wird davon ausgegangen, dass alle Brennelemente in einen Behälter vom Typ CASTOR[®] MTR 3 verbracht werden können.

ANHANG:

Tabelle: Versuchs- Demonstrations- und Forschungsreaktoren endgültig abgeschaltet, in Stilllegung sowie Stilllegung beendet und aus der atomrechtlichen Überwachung entlassen (Stand vom 31. Dezember 2014).

Anlage Standort	Status	geplanter Endzustand
Forschungsreaktoren mit thermischen Leistungen von 1 MW und mehr		
FMRB (Braunschweig)	bis auf ZL aus AtG entlassen	-
FR-2 (Karlsruhe)	Reaktorkern im Sicheren Einschluss	Beseitigung
FRG-1 (Geesthacht)	abgeschaltet, Brennelemente entfernt, Stilllegung beantragt	Beseitigung
FRG-2 (Geesthacht)	abgeschaltet, teilweise rückgebaut	Beseitigung
FRJ-1 MERLIN (Jülich)	beseitigt	-
FRJ-2 DIDO (Jülich)	im Rückbau	Beseitigung
FRM (München)	Teilabbau; Umwandlung in Nebenanlage des FRM II	Teilabbau
FRN (Neuherberg)	im Sicheren Einschluss	noch nicht festgelegt
RFR (Rossendorf)	im Rückbau	Beseitigung
Forschungsreaktoren mit thermischen Leistungen von weniger als 1 MW		
ADIBKA (Jülich)	beseitigt	-
AEG Nullenergie Reaktor (Karlstein)	beseitigt	-
AKR-1 (Dresden)	umgebaut und umgewidmet zu AKR-2, Betrieb seit 22. März 2005	
ANEX (Geesthacht)	beseitigt	-
BER-I (Berlin)	beseitigt	-
FRF-1 (Frankfurt a. M.) FRF-2 im selben Gebäude wurde nie kritisch	beseitigt	-
FRH (Hannover)	beseitigt	-
HD I (Heidelberg)	beseitigt	-
HD II (Heidelberg)	beseitigt	-
KAHTER (Jülich)	beseitigt	-
KEITER (Jülich)	beseitigt	-
PR-10, AEG Prüfreaktor (Karlstein)	beseitigt	-
RAKE (Rossendorf)	beseitigt	-
RRR (Rossendorf)	beseitigt	-
SAR (München)	beseitigt	-
SNEAK (Karlsruhe)	beseitigt	-
STARK (Karlsruhe)	beseitigt	-
SUR(Aachen)	Stilllegung beantragt	Beseitigung
SUR (Berlin)	beseitigt	-

SUR (Bremen)	beseitigt	-
SUR (Darmstadt)	beseitigt	-
SUR (Hamburg)	beseitigt	-
SUR (Hannover)	Stilllegung beantragt	Beseitigung
SUR (Karlsruhe)	beseitigt	-
SUR (Kiel)	beseitigt	-
SUR (München)	beseitigt	-
SUAK (Karlsruhe)	beseitigt	-
SUA (München)	beseitigt	-
ZLFR (Zittau)	beseitigt	-
Versuchs- und Demonstrationsreaktoren		
AVR Atomversuchskraftwerk (Jülich)	im Rückbau	Beseitigung
HDR Heißdampfreaktor (Großwelzheim)	beseitigt	-
KKN (Niederaichbach)	beseitigt	-
KNK II Kompakte Natriumgekühlte Reaktoranlage (Karlsruhe) ²⁵	im Rückbau	Beseitigung
MZFR Mehrzweckforschungsreaktor (Karlsruhe)	im Rückbau	Beseitigung
Nuklearschiff Otto Hahn (Geesthacht)	Nuklearschiff aus AtG entlassen, RDB zwischengelagert; Rückbau in Planung	-
THTR-300 Thorium-Hochtemperaturreaktor (Hamm-Uentrop)	im Sicheren Einschluss	noch nicht festgelegt
VAK Versuchsatomkraftwerk (Kahl)	beseitigt	-

²⁵

Der Reaktor KNK II entstand durch den Umbau des von 1971-1974 in Betrieb befindlichen Reaktors KNK I