

Geschäftsstelle

**Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
K-Drs. 256**

Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

Entwurf des Berichtsteils zu Teil B – Kapitel 2.3 (Abfallbilanz)

Vorlage der ad-hoc-Gruppe „Leitbild“ für die 32. Sitzung der Kommission am 20. Juni 2016

ERSTE LESUNG
BEARBEITUNGSSTAND: 14.06.2016

1 2.3 Abfallbilanz

2 Für die Auswahl von Standorten für ein Endlagerbergwerk ist es erforderlich, Mengen und Eigenschaften
3 der dort zu deponierenden radioaktiven Abfallstoffe vorher abzuschätzen. Bei hoch radioaktiven
4 Abfallstoffen hängen von der Menge der Abfälle und von der Wärme, die diese abgeben, Volumen und
5 Fläche ab, die je nach Wirtsgestein unter Tage für eine Endlagerung zur Verfügung stehen muss. Bei
6 schwach und mittel radioaktiven Abfällen wird die benötigte Fläche in erster Linie vom Abfallvolumen
7 bestimmt. Zudem müssen stoffliche Eigenschaften der Abfälle bekannt sein. Stoffliche Eigenschaften
8 und bei hoch radioaktiven Stoffen auch abgegebene Wärme oder Strahlung bestimmen die
9 Wechselwirkungen zwischen Abfällen und der Umgebung im Endlager. Dabei sind vor allem
10 Eigenschaften oder Wechselwirkungen wichtig, die unter Tage zu einer Mobilisierung von in den
11 Abfällen enthaltenen Radionukliden führen können oder eine Mobilisierung begünstigen können.

12 Die Produktion radioaktiver Abfallstoffe endet in Deutschland im Jahr 2022 weitgehend. Die Menge der
13 nach dem Ausstieg aus der Kernenergie dann endzulagernden radioaktiven Abfallstoffe lässt sich bereits
14 abschätzen. Die Menge der hoch radioaktiven Abfallstoffe, die bei Ausschöpfung der Restlaufzeiten der
15 verbliebenen Kraftwerke noch anfallen wird, steht im Großen und Ganzen fest. Die Menge der dann
16 entstandenen schwach und mittel radioaktiven Abfälle lässt sich allerdings oft erst bestimmen, wenn
17 diese von anderen Stoffen abgetrennt sind und wenn diese in für die Endlagerung konditionierter oder
18 konditionierbarer Form vorliegen.

19 Die stofflichen Eigenschaften hoch radioaktiver Abfallstoffe variieren wenig, da diese entweder als
20 radioaktives Schwermetall in abgebrannten Brennelementen oder als in Glas eingeschmolzene Abfälle
21 aus der Wiederaufarbeitung vorliegen. Auch die mittel radioaktiven Abfallstoffe aus der
22 Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente im Ausland, die zusammen mit den hoch radioaktiven
23 Abfällen endgelagert werden, ähneln stofflich den abgebrannten Brennelementen oder den hoch
24 radioaktiven Wiederaufarbeitungsabfällen.¹

25 Eine weitaus größere stoffliche Bandbreite haben schwach und mittel radioaktive Abfallstoffe, die einen
26 geringeren Anteil radioaktiver Stoffe und einen großen Anteil anderer Abfälle enthalten. Hier sind für
27 die Standortsuche, die die Kommission vorbereitet hat, allerdings lediglich drei Kategorien von
28 Abfallstoffen zu betrachten:

- 29
- Abfallstoffe aus der Schachanlage Asse zurückgeholt werden sollen;
 - 30 • zu erwartenden radioaktiven Abfälle aus der Urananreicherung:
 - 31 • weitere schwach und Mittel radioaktiver Abfallstoffe, die nicht im Endlager Schacht Konrad
32 deponiert werden können, weil ihr Inhalt an Radionukliden oder ihre chemische
33 Zusammensetzung den Annahmebedingungen von Konrad nicht entspricht.

34 Die Bundesregierung schlägt in ihrem Nationale Entsorgungsprogramm vor, die genannten Abfallstoffe
35 aus der Schachanlage Asse, als Abfall anfallendes abgereichertes Uran aus der Urananreicherung und
36 die schwach und mittel radioaktiven Abfälle, die nicht im Endlager Konrad eingelagert werden können,
37 bei der Auswahl des Standortes für ein Endlager insbesondere für hoch radioaktive Abfallstoffe zu
38 berücksichtigen.²

39 Nach dem Programm soll eine abschließende Entscheidung über den Endlagerstandort für diese Abfälle
40 von den Kriterien für die Einlagerung in das nach diesem Bericht auszuwählende Endlager abhängig sein
41 und auch von der tatsächlichen Beschaffenheit der Abfallstoffe, die aus der Asse zurückgeholt werden.³
42 Die Kommission hat beschlossen, auch Empfehlungen für die Lagerung der Abfälle aus der

¹ Dabei handelt es sich um kompaktierte Metallteile der Brennelemente, die in die Wiederaufarbeitung geliefert wurden, um in Glas eingeschmolzene Spülwässer, die Reste der Spaltproduktlösungen enthalten, auf die hoch radioaktiven Wiederaufarbeitungsabfälle zurückgehen.

² Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015). Programm für eine verantwortungsvolle und sichere Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (nationales Entsorgungsprogramm). K-Mat 39. S. 13.

³ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015). Programm für eine verantwortungsvolle und sichere Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (nationales Entsorgungsprogramm). K-Mat 39. S. 13.

1 Schachanlage Asse, für abgereichertes Uran aus der Urananreicherung und für die schwach und mittel
2 radioaktiven Abfallstoffe zu entwickeln, die nicht im Schacht Konrad deponiert werden können.⁴ Welche
3 Randbedingungen erfüllt sein müssten, damit am auszuwählenden Standort zur Endlagerung hoch
4 radioaktiver Abfallstoffe auch die genannten weiteren radioaktiven Abfallstoffe endgelagert werden
5 könnten, beschreibt der Abschnitt B 6.6 dieses Berichtes.

6 Die Kommission geht davon aus, dass der gesuchte Standort und ein späteres Endlager alle
7 Anforderungen erfüllen werden, die an eine Deponie für toxische Stoffe zu stellen sind. Von daher
8 werden chemotoxische wie chemische Eigenschaften der Abfallstoffe nur insoweit betrachtet, als sie für
9 eine Mobilisierung von Radionukliden von Relevanz sein könnten. Unberücksichtigt bleiben zunächst
10 hier auch die Spektren von Radionukliden, die hoch radioaktive Abfallstoffe enthalten. Die von der
11 Kommission entwickelten geologischen Kriterien, nach denen Standortregionen oder Standorte
12 bestimmt werden, sind so formuliert, dass geeignete Wirtsgesteine alle infrage kommenden Radionuklide
13 einschließen können.

14 Detailliertere Angaben über Mengen, Volumina, Gesamtaktivität oder Chemotoxizität der Stoffe, sowie
15 über die verschiedenen darin enthaltenen Radionuklide sind für vorläufige Sicherheitsuntersuchungen
16 bei späteren Schritten der Standortauswahl erforderlich. Daten zu den genannten Abfalleigenschaften
17 sind für die spätere Endlagerung ohnehin umfassend zu erheben und zu speichern.

18

19 **2.3.1 Schwach und mittel radioaktive Abfälle**

20 Die Abfallprognose des Bundesamtes für Strahlenschutz, die dem Nationale Entsorgungsprogramm der
21 Bundesregierung zugrunde liegt, bezieht die aus der Schachanlage Asse zurückzuholenden Abfälle
22 und als Abfallstoff bei der Urananreicherung anfallendes abgereichertes Uran noch nicht ein. Nach der
23 Prognose wird die genehmigte Aufnahmekapazität des Endlagers Schacht Konrad von 303.000
24 Kubikmetern durch die bis zum Jahr 2050 erwarteten Volumina der übrigen schwach und mittel
25 radioaktiven Abfallstoffen größtenteils ausgeschöpft. Eine frühere Abfallprognose des Bundesamtes
26 lag bereits der Festlegung der dann genehmigten Aufnahmekapazität des Endlagers zugrunde.

27

28 Bis zum Jahr 2050 sollen die in die Prognose einbezogenen Abfallstoffe, die auf die Nutzung der
29 Kernenergie zurückgehen, nahezu vollständig angefallen sein:

30

31 **Erwartete Volumina an konditionierten schwach und mittel radioaktiven Abfällen⁵**

32

	2020	2030	2040	2050	2060	2070
Kernkraftwerke	85.400	146.800	168.200	185.700	185.700	185.900
Forschung	55.200	62.300	65.600	69.100	71.600	71.600
Kerntechnische Industrie	11.500	12.200	12.400	13.000	13.100	13.100
WAK Karlsruhe	18.200	21.400	21.400	21.400	21.400	21.400
Landessammelstellen	4.600	5.700	6.700	7.800	8.800	9.800
Gesamtvolumen im m³	174.900	248.400	274.300	297.000	300.600	301.800

33

34 Die derzeit bereits angefallenen schwach und mittel radioaktiven Abfallstoffe gehen nach einer
35 Abschätzung des Bundesumweltministeriums zu rund 78 Prozent auf die Stromerzeugung im weiteren
36 Sinne zurück.⁶ Diese Abschätzung geht davon aus, dass die schwach und mittel radioaktiven Abfallstoffe

⁴ Vgl. Beschluss der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 19. November 2015. K-Drs. 145.

⁵ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016. S. 11. Die Prognose beruht demnach auf Daten des Jahre 2011.

⁶ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016. S. 12.

1 aus Forschungseinrichtungen je etwa zur Hälfte der Forschung für die Stromerzeugung und den
 2 Forschungen für andere Zwecke zuzurechnen sind.⁷ Die Relation von Abfallstoffen aus der
 3 Stromerzeugung zu schwach und mittel radioaktiven Abfallstoffen aus anderen Prozessen wird sich in
 4 Zukunft weiter in Richtung der Abfälle aus Stromerzeugung verschieben, „da ein Großteil der Abfälle
 5 aus den Leistungsreaktoren erst im Rahmen ihrer Stilllegung anfallen wird“⁸.

6 Auch die in der Prognose des Bundesamtes noch nicht erfassten schwach und mittel radioaktiven
 7 Abfallstoffe haben überwiegend in der Stromerzeugung in ihren Ursprung. Die Urananreicherung, aus
 8 der bis zu 100.000 Kubikmeter weitere Abfallstoffe erwartet werden, ist in Deutschland Zulieferer der
 9 Brennelementherstellung. Die radioaktiven Abfälle in der Schachtanlage Asse stammen nach Angaben
 10 des Bundesamtes für Strahlenschutz zu 67 Prozent direkt oder indirekt aus der Stromerzeugung in
 11 Kernkraftwerken.⁹ Weitere rund 23 Prozent dieser Abfallstoffe stammen aus der Kernforschung,
 12 überwiegend aus Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für kerntechnische Anwendungen, 8 Prozent
 13 aus der kerntechnischen Industrie selbst. Nur etwa 2 Prozent der Abfallstoffe in der Schachtanlage Asse
 14 gegen auf weitere Anlieferungen zurück.

15

16 **2.3.1.1 Erwartete Abfallstoffe aus der Schachtanlage Asse**

17 Das Volumen der radioaktiven Abfallstoffe, das nach der gesetzlich vorgesehenen Rückholung
 18 radioaktiver Abfälle aus der Schachtanlage Asse endzulagern sein wird, lässt sich bislang nur abschätzen.
 19 In der Schachtanlage wurden in den Jahren 1967 bis 1978 insgesamt 125.787 Abfallbehälter deponiert,
 20 davon 1.293 200-Liter-Fässer mit mittel radioaktiven und 124.494 Behälter verschiedener Typen mit
 21 schwach radioaktiven Abfallstoffen. Die Behälter hatten ein Gesamtvolumen von etwa 47.930
 22 Kubikmetern und eine Gesamtmasse von rund 89.000 Tonnen.

23 Zum Zeitpunkt der Einlagerung wiesen die Abfallstoffe eine Gesamtaktivität von rund $1 \cdot 10^{16}$ Bq auf.
 24 Ende des Jahres 2014 bewegte sich die errechnete Gesamtaktivität bei $2,5 \cdot 10^{15}$ Bq. Zum Vergleich: Die
 25 Aktivität der hoch radioaktiven Abfallstoffe, für deren Endlagerung ein Standort auszuwählen ist, wird
 26 um mehr als fünf Zehnerpotenzen, um mehr als das Hunderttausendfache, höher liegen.¹⁰ Die
 27 Abfallstoffe in der Asse enthalten nach derzeitigen Kenntnisstand insgesamt an Kernbrennstoffen 28,9
 28 Kilogramm Plutonium und 30,1 Kilogramm Uran.¹¹

29 Zu den Eigenschaften der in der Schachtanlage Asse deponierten Abfallstoffe und zu den darin bei
 30 Deponierung enthaltenen Radionukliden liegen detailliert Informationen vor.¹² Unklarheiten bestehen
 31 über den heutigen Zustand der Abfallbehälter, in denen die Abfallstoffe in der Schachtanlage deponiert
 32 wurden. Damit ist auch offen, welche Mengen an kontaminierten Salz zusammen mit den Abfallstoffen
 33 zurückzuholen sein werden.

34 Das Nationale Entsorgungsprogramm geht davon aus, dass sich aus der Rückholung radioaktiver
 35 Abfallstoffe und kontaminierten Salzes konditionierte Abfälle mit einem Volumen von rund 175.000 bis
 36 220.000 Kubikmetern ergeben können.¹³ Dem liegt die Annahme zugrunde, dass bis zu 50.000

⁷ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016. S. 12.

⁸ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016. S. 12.

⁹ Vgl. Bundesamt für Strahlenschutz. Schachtanlage Asse II Kenntnis über die eingelagerten Abfälle. Erlass vom 10. 09. 2015. S. 1f.

¹⁰ Vgl. Bundesamt für Strahlenschutz. Schachtanlage Asse II Kenntnis über die eingelagerten Abfälle. Erlass vom 10. 09. 2015. S. 2.

¹¹ Vgl. Bundesamt für Strahlenschutz. Schachtanlage Asse II Kenntnis über die eingelagerten Abfälle. Erlass vom 10. 09. 2015. S. 2.

¹² Vgl. dazu: GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (2002). Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachtanlage Asse. Abschlussbericht. Sowie: GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (2003). Bestimmung des Inventars an chemischen und chemotoxischen Stoffen in den eingelagerten Abfällen der Schachtanlage Asse. Abschlussbericht. Sowie: Helmholtz Zentrum München: Projektgruppe Jülich (2010). AG Asse Inventar – Abschlussbericht. Sowie: TÜV Süd (2011) Schachtanlage Asse II. Bericht zur Überprüfung des Abfallinventars. Teil A; Recherche der Betriebsdokumente. Und: TÜV Süd (2011) Schachtanlage Asse II. Bericht zur Überprüfung des Abfallinventars. Teil B; Überprüfung der Kernbrennstoffdaten.

¹³ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015). Gemeinsames Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle. Bericht der Bundesrepublik Deutschland für die fünfte Überprüfungs-konferenz im Mai 2015. K-Mat 39. S. 13.

1 Kubikmeter kontaminiertes Salz aus der Schachtanlage zurückzuholen sind.¹⁴ Dem in noch unbekannter
 2 Menge zurückzuholenden Salz kommt wegen der hygroskopischen Eigenschaften vor allem bei einer
 3 Endlagerung an einem Standort mit Ton- oder Kristallingestein Bedeutung zu.

4 Nach Abfallgruppen betrachtet bestanden die in der Schachtanlage Asse eingelagerten mittel
 5 radioaktiven Abfallstoffe bestanden zu rund zwei Dritteln aus Metallschrott und zu einem Drittel aus
 6 Filtern, Filterhilfsmitteln, Schlämmen, Verdampferkonzentraten, Harzen und Ähnlichem.

7 An toxischen Stoffen wiesen die Einlagerungsunterlagen unter anderem 26 Tonnen Chromverbindungen,
 8 15 Tonnen Blei, 1 Tonne Cyanide und 0,5 Tonnen Arsenverbindungen aus.¹⁵ Organische Inhaltstoffe
 9 wie Zellulose und Kunststoffe sowie enthaltene Metalle können sich durch Gärung oder Korrosion
 10 zersetzen und dabei Gase bilden.

11

12 **2.3.1.2 Abfälle aus der Urananreicherung**

13 Das Nationalen Entsorgungsprogramm der Bundesregierung empfiehlt bei der Auswahl eines Standortes
 14 zur Endlagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe auch das „angefallene und anfallende abgereicherte Uran
 15 aus der Urananreicherung vorsorglich“ zu berücksichtigen, „sollte eine weitere Verwertung nicht
 16 erfolgen“¹⁶. Dabei rechnet das Programm „aus der Urananreicherung mit bis zu 100.000 Kubikmetern
 17 Abfallgebinder Volumen abgereichertem Uran“¹⁷, falls dieses Uran nicht weiter verwertet wird.

18 Abgereichertes Uran fällt in Deutschland in der Urananreicherungsanlage in Gronau an, die seit 1985
 19 angereichertes Uran für die Versorgung von Kernkraftwerken mit Brennstoff produziert. Das erzeugte
 20 abgereicherte Uran gilt dabei zunächst als Wertstoff, weil es weiterhin spaltbares Uran 235 wenn auch
 21 in geringeren Konzentrationen enthält, das sich bei steigendem Aufwand abtrennen lässt oder ließe. Auch
 22 bei der weiteren Abtrennung von Uran 235, das im abgereicherten Uran in der Regel noch zu 0,2 bis 0,4
 23 Prozent enthalten ist, bleiben allerdings am Ende des Prozesses schwach radioaktive Abfallstoffe in
 24 gleicher Größenordnung zurück. Ob abgereichertes Uran durch weitere Abtrennung von Uran 235
 25 tatsächlich verwertet wird oder zur Verwertung verkauft werden kann, hängt unter anderem vom
 26 Weltmarktpreis für Natururan ab. Abgereichertes Uran, das nicht zur Verwertung vorgesehen ist, gilt als
 27 radioaktiver Abfallstoff.

28 In der Anlage in Gronau wird abgereichertes Uran als Uranhexafluorid in einem Freilager mit einer
 29 Kapazität von 38.000 Tonnen aufbewahrt. Die atomrechtliche Genehmigung der Anlage gab vor, am
 30 Standort auch ein Zwischenlager für Uranoxid zu errichten, sobald die Kapazität des Freilagers zur Hälfte
 31 mit sogenannten „Tails“, also mit abgereichertem Uran in Form von Uranhexafluorid, ausgelastet ist.¹⁸
 32 Ab dieser Auslastung wurde dem Betreiber der Anlage auch aufgegeben, mit den Vorbereitungen der
 33 Umwandlung von Uranhexafluorid in das stabilere Uranoxid zu beginnen.¹⁹ Das mittlerweile errichtete
 34 Lager für Uranoxid mit einer Aufnahmekapazität von 50.000 Tonnen Uran, die 58.962 Tonnen Uranoxid
 35 entsprechen, sollte bislang im Laufe des Jahres 2016 in Betrieb gehen.²⁰

36 Die Anreicherungsanlage in Gronau hat eine Trennleistung von jährlich 4.500 Tonnen. Bei voller
 37 Auslastung kann Sie pro Jahr in Form von Uranhexafluorid jeweils 1.360 Tonnen angereichertes und

14

¹⁵ Vgl. Bundesamt für Strahlenschutz. Schachtanlage Asse II Kenntnis über die eingelagerten Abfälle. Erlass vom 10. 09. 2015. S. 2.

¹⁶ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015). Programm für eine verantwortungsvolle und sichere Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (nationales Entsorgungsprogramm). K-Mat 39. S. 5.

¹⁷ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015). Programm für eine verantwortungsvolle und sichere Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (nationales Entsorgungsprogramm). K-Mat 39. S. 11.

¹⁸ Vgl. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Hubertus Zdebel, Herbert Behrens, Ralph Lenkert, Eva Bulling-Schröter und der Fraktion Die Linke (2014). BT-Drs. 18/2362. S. 2f.

¹⁹ Vgl. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Hubertus Zdebel, Herbert Behrens, Ralph Lenkert, Eva Bulling-Schröter und der Fraktion Die Linke (2014). BT-Drs. 18/2362. S. 3.

²⁰ Vgl. Antwort der Landesregierung Nordrhein-Westfalen auf die Kleine Anfrage 4423 vom 29. Januar 2016 des Abgeordneten Hanns-Jörg Rohwedder Piraten. Landtag Nordrhein-Westfalen Drs. 16/11283. S. 2.

1 10.730 Tonnen abgereichertes Produkt erzeugen.²¹ Diese 10.370 Tonnen Uranhexafluorid-Tails
2 entsprechen nach entsprechender Dekonversion 8.560 Tonnen Uranoxid.

3 Die tatsächliche Relation zwischen der Menge an angereicherten Uran für Brennelemente und dem dabei
4 anfallenden abgereicherten Uran hängt von zwei Faktoren ab: Vom Anreicherungsgrad, der in dem
5 produzierten Brennelement erreicht werden soll, und vom Abreicherungsgrad der verbleibenden Uran-
6 Tails. Bei der Wahl des Abreicherungsgrades spielen neben dem Weltmarktpreis von Natururans auch
7 die aktuell im Unternehmen verfügbaren Anreicherungskapazitäten eine Rolle. Im Resultat fallen bei der
8 Produktion von einer Tonne unbestrahltem Kernbrennstoff aus Natururan zwischen fünf und acht
9 Tonnen abgereichertes Uran an:²²

10

11 **Relation von Natururan und Uran-Tails²³ je Tonne Kernbrennstoff nach Abreicherungsgraden**

Anreicherungsgrad U-235	3,6%			4,0%		
Abreicherungsgrad der verbleibenden Uran-Tails	0,1%	0,2%	0,3%	0,1%	0,2%	0,3%
U _{nat} -Bedarf in Tonnen für eine Tonne Kernbrennstoff	5,7	6,6	8,0	6,4	7,4	9,0
Tailsmenge in Tonnen für eine Tonne Kernbrennstoff	4,7	5,6	7,0	5,4	6,4	8,0

12

13 Wieviel abgereichertes Uran aus der Anlage in Gronau tatsächlich nicht weiter verwertet oder nicht zur
14 weiteren Verwertung verkauft werden kann, hängt auch von Marktverhältnissen ab. Die
15 Anreicherungsanlage in Gronau verfügt über eine unbefristete Genehmigung. Auch daher ist derzeit
16 nicht prognostizierbar, wieviel abgereichertes Uranoxid am Ende zu entsorgen sein wird. Die im
17 Nationalen Entsorgungsprogramm genannten 100.000 Kubikmeter stellen eine Schätzung dar, die den
18 Willen dokumentiert, das abgereicherte Uran, das am Ende verschiedener Anreicherungsprozesse stets
19 als Abfallstoff anfällt, in Deutschland zu entsorgen.

20 Stofflich ist das abgereicherte Uran zunächst dem Inhalt der abgebrannten Brennelemente ähnlich, die
21 als hoch radioaktive Abfallstoffe endzulagern sind. Allerdings können nach der Umwandlung von
22 Uranhexafluorid in Uranoxid im Endprodukt bis zu zwei Prozent Uranylfluorid und Anteile von
23 Flusssäure zurückbleiben²⁴, was eine räumlich getrennte Endlagerung von abgereichertem Uran aus der
24 Anreicherung und von hoch radioaktiven Abfallstoffen erforderlich macht.²⁵

25 **2.3.1.3 Weitere schwach und mittel radioaktive Abfallstoffe**

26 In den Endlagerungsbedingungen für die Schachanlage Konrad sind für zahlreiche Radionuklide
27 Obergrenzen für die zulässige Aktivität pro Endlagerbehälter festgeschrieben. Zudem erlauben die
28 Bedingungen die Einlagerung Wasser verunreinigender Stoffen für das gesamte Endlager nur bis zu
29 bestimmten Gesamtmassen. Die Aktivitätsbegrenzungen für einzelne Radionuklide und die
30 Massenbegrenzungen für nicht radioaktive schädliche Stoffe wurden vom Bundesamt für Strahlenschutz
31 auf Grundlage der Sicherheitsanalyse und der wasserrechtlichen Erlaubnis für das Endlager erarbeitet.
32 Radioaktive oder andere schädliche Stoffe, durch die die festgelegten Begrenzungen überschritten

²¹ Vgl. URENCO Deutschland (2020). Urananreicherungsanlage Gronau. Kurzbeschreibung des Endausbaus und der voraussichtlichen Auswirkungen. S.35.

²² Tabelle nach: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016

²³ Uran-Tails oder übersetzt Uran-Reste werden die Mengen an abgereichertem Uran genannt, denen bei der Anreicherung von Natururan das spaltbare Isotop Uran 235 zum Teil entzogen wurde. Natururan enthält 0,7 Prozent Uran 235, abgereichertes Uran 0,1 bis 0,3 Prozent. Für die Brennelementfertigung wird Natururan auf einen Anteil von 3,6 bis 4,0 Prozent Uran 235 angereichert.

²⁴ Vgl. Kienzler, Bernhard; Altmaier, Marcus; Bube Christiane; Metz, Volker (2013). Radionuclide Source Term for Irradiated Fuel from Prototype, Research an Education Reactors, for Waste Forms with Negligible Heat Generation and for Uranium Tails. KIT Scientific Reports7635. S. 19.

²⁵ Vgl. Kapitel B 6.6 dieses Berichtes.

1 werden könnten, dürfen in der Schachanlage Konrad nicht endgelagert werden. In welchen Umfang
2 diese sogenannten nicht Konrad-gängigen schwach oder mittel radioaktiven Abfallstoffe tatsächlich
3 anfallen werden, ist bislang nicht seriös abschätzbar.

4 Als schwach oder mittel radioaktiven Abfallstoffen, die nicht den Endlagerungsbedingungen von Konrad
5 entsprechen könnten, kommen etwa C-14-haltige, Tritium-haltige, sowie Tritium- und Beryllium-haltige
6 radioaktive Abfallstoffe in Betracht und etwa auch Abfälle, die Thorium oder Paraffin enthalten.²⁶
7 Derartige Abfälle fallen etwa in Großforschungseinrichtungen und Forschungsreaktoren anfallen.
8 Abfallstoffe, die Beryllium oder Paraffin enthalten, können etwa auf dort genutzte Strahlenquellen
9 zurückgehen.

10 Bevor die bergmännische Erkundung des Salzstockes Gorleben beendet wurde, ging die mittlerweile
11 ohne Ergebnis abgeschlossene Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort davon aus, dass bis zu
12 1.000 Kubikmeter graphithaltige radioaktiver Abfälle anfallen könnten, die trotz geringer
13 Wärmeentwicklung nicht in der Schachanlage Konrad eingelagert werden dürfen.²⁷ Demnach könnten
14 vor allem graphithaltige Abfälle aus dem Rückbau von Hochtemperaturreaktoren die für Konrad
15 geltenden Aktivitätsgrenzen für C 14 oder Tritium überschreiten.

16 Die Gesamtmenge der weiteren schwach und Mittel radioaktiven Abfallstoffe, die den
17 Einlagerungsbedingungen der Schachanlage Konrad nicht entsprechen, ist bislang schwer
18 prognostizierbar. Ein Diskussionspapier der Entsorgungskommission schätzt sie auf mehr als 6.000
19 Kubikmeter.²⁸

20 Bis Ende des Jahres 2014 haben Abfallverursacher dem Bundesamt für Strahlenschutz den Anfall von
21 knapp 22.000 Tonnen nicht konditionierter und von gut 117.000 Kubikmetern konditionierter schwach
22 Wärme entwickelnder radioaktiver Abfallstoffe gemeldet. Nach den Meldungen wurden bislang
23 lediglich 144 Kubikmeter konditionierte Abfälle als nicht Konrad-gängig eingestuft. Allerdings waren
24 bis dahin erst insgesamt 2.929 Kubikmeter Abfälle produktkontrolliert und damit abschließend auf
25 Übereinstimmung mit den Konrad-Einlagerungsbedingungen geprüft:

26 **Bereits angefallene und gemeldete schwach Wärme entwickelnde Abfallstoffe²⁹**

Kategorie	Noch nicht konditionierte Abfallstoffe	Konditionierte Abfallstoffe
	Tonnen	Kubikmeter
Rohabfälle (RA)	8.222	-
vorbehandelte Abfälle (VA)	13.544	-
Abfälle in Innenbehältern (P1)	-	14.845
Produktkontrollierte Abfallprodukte (P2)	-	1.860
Abfälle in Konradbehältern (G1)	-	97.391
Produktkontrollierte Abfallgebände (G2)	-	2.929
Bislang als nicht Konrad-gängig eingestufte Abfallstoffe		144
Summe	21.766	117.169

27

²⁶ Vgl. Deutscher Bundestag (2010). Antwort der Bundesregierung auf die auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Sylvia Kötting-Uhl, Bärbel Höhn, Dorothea Steiner, weiterer Abgeordneter und der Fraktion Bündnis 90/Die Grünen. Bt-Drs. 17/3347. S. 5. Die genannten Abfallstoffe können etwa auf Strahlenquellen und auf Stoffe aus dem Rückbau von Hochtemperaturreaktoren zurückgehen.

²⁷ Vgl. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (2011). Abfallspezifikation und Mengengerüst. Basis Ausstieg aus der Kernenergienutzung (Juli 2011). Bericht zum Arbeitspaket 3. Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben. S. 47ff.

²⁸ Vgl. Entsorgungskommission. Diskussionspapier vom 12.05.2016. Diskussionspapier zur Endlagerung von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen, abgereichertem Uran aus der Urananreicherung, aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden Abfällen und sonstigen Abfällen, die nicht in das Endlager Konrad eingelagert werden können, an einem Endlagerstandort. S. 5.

²⁹ Tabelle nach: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016. S. 10. Die Angaben gelten zum Stichtag 31. Dezember 2014.

1 Andere mittel radioaktive Abfallstoffe, die nicht in der Schachanlage Konrad eingelagert werden
 2 können, sind bislang für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle vorgesehen. Ein Teil
 3 der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in Frankreich, die Deutschland zurückzunehmen hat, ist mittel
 4 radioaktiv, überschreitet in der Konrad-Genehmigung festgelegte Nuklid-Obergrenzen und kann daher
 5 nicht in der Schachanlage Konrad endgelagert werden.³⁰ Zu diesen mit radioaktiven Abfällen aus der
 6 Wiederaufarbeitung zählen 4.104 Kokillen mit kompaktierten Metallteilen von Brennelementen, die
 7 Deutschland in 152 Behältern zurückzunehmen hat. Weitere fünf Behälter mit mittel radioaktiven
 8 Abfällen aus der Wiederaufarbeitung sollen in das Standortzwischenlager Philippsburg transportiert
 9 werden.³¹ Diese Behälter sollen Kokillen enthalten, in denen Spüllösungen aus der französischen
 10 Wiederaufarbeitungsanlage La Hague in Glas eingeschmolzen wurden.

11 Als weitere Wärme entwickelnde, aber nicht hoch radioaktive Abfallstoffe erwartet das Bundesamt für
 12 Strahlenschutz rund 3.400 Kubikmeter Abfälle aus industriellen Konditionierungsanlagen, die in
 13 sogenannten Mosaik-Behältern etwa radioaktiven Schrott oder Filterrückstände aus Kernkraftwerken
 14 enthalten. Diese Abfallstoffe entstehen, falls die hochradioaktiven Abfallstoffe nicht in den derzeit für
 15 die Zwischenlagerung genutzten Transport- und Lagerbehältern, sondern in anderen Behältern
 16 endgelagert werden. Zudem rechnet das Amt damit, dass aus der ehemaligen Wiederaufarbeitungsanlage
 17 Karlsruhe noch rund 900 Fässer mit je 200 Liter Inhalt mit sonstigen Wärme entwickelnden Abfällen zu
 18 entsorgen sein werden.³²

19 **2.3.2 Hoch radioaktive Abfallstoffe**

20 Mit dem Abschluss des Ausstiegs aus der Kernenergie endet in Deutschland spätestens am 31. Dezember
 21 des Jahres 2022 die Produktion hoch radioaktiver Abfallstoffe nahezu vollständig. Nach entsprechender
 22 Abklingzeit werden hierzulande am Ende grob geschätzt rund 30.000 Kubikmeter hoch radioaktive
 23 Abfallstoffe endzulagern sein.³³ Die Nutzung der Kernenergie in Deutschland wird bis 2022 bestrahlte
 24 Brennelemente mit einem Gehalt an Kernbrennstoff oder Schwermetall von rund 17.000 Tonnen erzeugt
 25 haben. Dabei sind Brennelemente mit rund 850 Tonnen Kernbrennstoff bereits eingerechnet, die
 26 zwischen der Mitte des Jahres 2016 und Ende des Jahres 2022 in die acht verbliebenen Kernkraftwerken
 27 noch höchsten eingebracht werden können. Auch ein schnelleres oder sofortiges Abschalten aller
 28 verbliebenen Kernkraftwerke würde die Dimension der Entsorgungsaufgabe nicht ändern und hätte keine
 29 nennenswerten Auswirkungen auf die Anforderungen, die an einen Standort zur sicheren Endlagerung
 30 der hoch radioaktiven Abfallstoffe zu stellen sind.

31 Die Abfälle für das Endlager für hoch radioaktive Abfallstoffe werden in der Regel als bestrahlte
 32 Brennelemente, die nach der Abklingzeit in Zwischenlagern dann direkt endzulagern sind, und als
 33 Abfälle aus der Wiederaufarbeitung vorliegen. Die hoch radioaktiven Abfallstoffe enthalten dabei über
 34 99 Prozent der Aktivität aller radioaktiven Anfälle, ihr späteres Volumen in konditionierter Form wird
 35 aber wahrscheinlich nur ein Zwanzigstel der geschätzten Gesamtmenge der endzulagernden radioaktiven
 36 Abfallstoffe ausmachen.

37 Die Abfallstoffe, die nach dem Ausstieg zurückbleiben und vorzugsweise für ein Endlager für hoch
 38 radioaktive Abfallstoffe vorgesehen sind, werden bis zur Endlagerung in Zwischenlagern hoch
 39 radioaktive Abfallstoffe circa 1.900 Transport- und Lagerbehälter verschiedener Typen füllen:³⁴

³⁰ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015). Programm für eine verantwortungsvolle und sichere Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (nationales Entsorgungsprogramm). K-Mat 39. S. 9.

³¹ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015). Gesamtkonzept zur Rückführung von verglasten radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung. [

www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/castoren_rueckfuehrung_gesamtkonzept_bf.pdf
 Letzter Abruf 10.6.2016]

³² Vgl. Bundesamt für Strahlenschutz (2016). Abfallprognosen.

[www.bfs.de/DE/themen/ne/abfaelle/prognosen/prognosen_node.html#doc6052314bodyText6 Letztere Abruf 9.6.2016]

³³ Die Abfallmengen, die bis dahin noch anfallen können, sind sicher abschätzbar. Das Volumen der endzulagernden Abfallstoffe hängt aber stark von der Art ihrer Konditionierung ab. Bei einer Verpackung der hoch radioaktiven Abfallstoffe in Pollux-Endlagerbehälter würde sich das Gesamtvolumen bei 30.000 Kubikmeter bewegen.

³⁴ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Pressemitteilung Nr. 199 vom 12. August 2015 (Zum Nationalen Entsorgungsprogramm). Bundeskabinett beschließt umfassendes Konzept zur Entsorgung des Atommülls. S. 2.

Erwartete Zahl von Behälter in standortnahen und in zentralen Zwischenlagern

Abfallart	Geschätzte Zahl der Behälter
Bestrahlte Brennelemente aus Leistungsreaktoren	Rund 1.100
Bestrahlte Brennelemente aus Forschungs-, Entwicklungs-, und Demonstrationsreaktoren	Rund 500
Hoch radioaktive Abfallstoffe aus der Wiederaufarbeitung	134
Mittel radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung	157
Gesamtzahl der Behälter	Rund 1.900

1

2 Zu den Brennelementen aus Forschungs- und Demonstrationsreaktoren sind 305 Behälter mit Abfällen
3 aus Hochtemperaturreaktoren zu zählen, die derzeit im Zwischenlager Ahaus aufbewahrt werden. Hinzu
4 kommen 152 Behältern mit Brennelementen aus dem AVR Jülich sowie 65 Behälter mit weitem Abfällen
5 aus Forschungsreaktoren.³⁵

6 2.3.2.1 Bereits angefallene an hoch radioaktiven Abfallstoffen

7 Daten zu den in Deutschland bislang produzierten hoch radioaktiven Abfallstoffen lagen der
8 Kommission für den Stichtag 31. Dezember 2014 vor. Insgesamt fielen demnach in Deutschland bis
9 dahin aus dem Betrieb von Leistungsreaktoren abgebrannte Brennelemente mit einem Gehalt an
10 Kernbrennstoffen oder Schwermetall von 15.047 Tonnen an. Davon wurden abgebrannte
11 Brennelementen mit Gehalt an 6.670 Tonnen Kernbrennstoff zur Wiederaufarbeitung oder zum
12 dauerhaften Verbleib im Ausland aus Kernkraftwerken abtransportiert.³⁶

13

Transport von Brennelementen aus Leistungsreaktoren in Wiederaufarbeitungsanlagen oder ins Ausland	Kernbrennstoff-Gehalt in Tonnen ³⁷
Transportiert zur Wiederaufarbeitungsanlage La Hague (Frankreich)	5.393
Transportiert zur Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield (Vereinigtes Königreich)	851
Aufgearbeitet in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe WAK	85
Aufgearbeitet in der Wiederaufarbeitungsanlage EUROCHEMIC (Belgien)	14
Rücklieferung in die ehemalige UdSSR (WWER-Brennelemente)	283
Lieferung mit Verbleib in Schweden (CLAB)	17
Wiedereinsatz von schwach bestrahlten WWER-Brennelementen in Paks (Ungarn)	27
Summe	6.670

14

15 Die Wiederaufarbeitung von Brennelementen aus deutschen Reaktoren im Ausland ist abgeschlossen.
16 Die dabei entstandenen Abfallstoffe sind allerdings zum Teil noch in die Bundesrepublik zu bringen.
17 Bereits zurückgenommen hat Deutschland aus der Wiederaufarbeitung 108 Behälter mit
18 hochradioaktiven Abfallstoffen, die das Zwischenlager Gorleben aufgenommen hat. Noch

³⁵ Vgl. Bundesamt für Strahlenschutz (2016). Abfallprognosen.

[www.bfs.de/DE/themen/ne/abfaelle/prognosen/prognosen_node.html#doc6052314bodyText6 Letztere Abruf 9.6.2016]

³⁶ Tabelle aus: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016. S. 2.

³⁷ Der in den Brennelementen enthaltene Kernbrennstoff besteht aus Uran, Plutonium oder Thorium und wird international üblicherweise in Megagramm Schwermetall angegeben. Die Kommission verwendet aus Gründen der Verständlichkeit eine abweichende Bezeichnung.

1 zurückzunehmen sind zum einen die erwähnten 157 Behälter mit mittel radioaktiven Abfallstoffen. Das
 2 Gesamtkonzept des Bundesumweltministeriums zur Rückführung von verglasten radioaktiven Abfällen
 3 aus der Wiederaufarbeitung sieht zudem die Aufnahme von je sieben Behältern mit hoch radioaktiven
 4 Abfallstoffen aus Großbritannien in den Standortzwischenlagern Brokdorf und Biblis vor sowie von
 5 sieben bis neun Behältern im Standortzwischenlager Isar.³⁸ Fünf weitere Behälter mit verglasten hoch
 6 radioaktiven Abfallstoffen aus der Wiederaufarbeitung von Brennelementen in der WAK Karlsruhe
 7 lagern im Zwischenlager Nord.

8

Gesamt mengen radioaktiver Abfälle aus der Wiederaufarbeitung³⁹

Abfallart	Anzahl Kokillen	Anzahl Behälter
Hoch radioaktive verglaste Abfälle aus Frankreich	3.024	108
Hoch radioaktive verglaste Abfälle aus Großbritannien	571	21
Hoch radioaktive verglaste Abfälle aus der WAK Karlsruhe	140	5
Mittel radioaktive kompaktierte Abfälle aus Frankreich	4.104	152
Mittel radioaktive verglaste Abfälle aus Frankreich	140	5
Summen	7.979	291

9

10 In den Nasslagern der Kernkraftwerke oder in Behältern in deutschen Zwischenlagern lagerten Ende
 11 des 2014 abgebrannte Brennelemente mit insgesamt 8.380 Tonnen Kernbrennstoff und einer
 12 Gesamtaktivität von rund 3 mal 10²⁰ Becquerel.⁴⁰

13

Bestand an bestrahlten Brennelemente aus deutschen Leistungsreaktoren am Jahresende 2014

Lagerort	Behälter	Zahl der Brennelemente	Gehalt an Kernbrennstoff insgesamt in Tonnen
Kernkraftwerk-Lagerbecken ⁴¹		14.013	4.258
Behälterlagerung in Standortzwischenlagern	352	9.638	3.444
Behälterlagerung in den Zwischenlagern Gorleben, Ahaus und Nord	76	5.343	85
Summe		28.994	8.379

15

2.3.2.2 Zu entsorgende Brennelemente aus Leistungsreaktoren

17 Der zuletzt Ende 2014 erfasste Bestand an bestrahlten Elementen erhöht sich um die Brennelemente, die
 18 zwischen Ende 2014 und Mitte 2016 den Reaktorkernen entnommen wurden, um die bereits erwähnten
 19 Brennelemente, die von Mitte 2016 bis Ende des Jahres 2022 noch neu in Reaktorkerne eingebracht
 20 werden können und um die Brennelemente, die sich Mitte 2016 in den Reaktorkernen der acht
 21 verbliebenen Kernkraftwerke befanden. Nach dem Ausstieg aus der Kernenergie werden damit
 22 Brennelemente aus Leistungsreaktoren mit Gesamtgehalt an Kernbrennstoffen von 10.500 Tonnen

³⁸ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015). Gesamtkonzept zur Rückführung von verglasten radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung. [www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/castoren_rueckfuehrung_gesamtkonzept_bf.pdf Letzter Abruf 10.6.2016]

³⁹ : Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016. S. 14.

⁴⁰ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016. S. 14.

⁴¹ Tabelle nach: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016. S. 14.

1 endzulagern sein. Die Gesamtzahl der endzulagernden Brennelemente aus Leistungsreaktoren, die
 2 allerdings je nach Reaktortyp sehr unterschiedliche Größen haben, wird sich bei 34.600 bewegen.

3

Voraussichtlich zu entsorgende Brennelemente aus deutschen Leistungsreaktoren⁴²

Brennelementtyp	Anzahl	Gesamtgehalt an Kernbrennstoff in Tonnen
Druckwasserreaktoren Uranoxid	12.450	6.415
Druckwasserreaktoren Mischoxid	1.530	765
Siedewasserreaktoren Uranoxid	14.350	2.465
Siedewasserreaktoren Mischoxid	1.250	220
WWER Druckwasserreaktoren	5.050	580
Summen	34.630	10.445

4

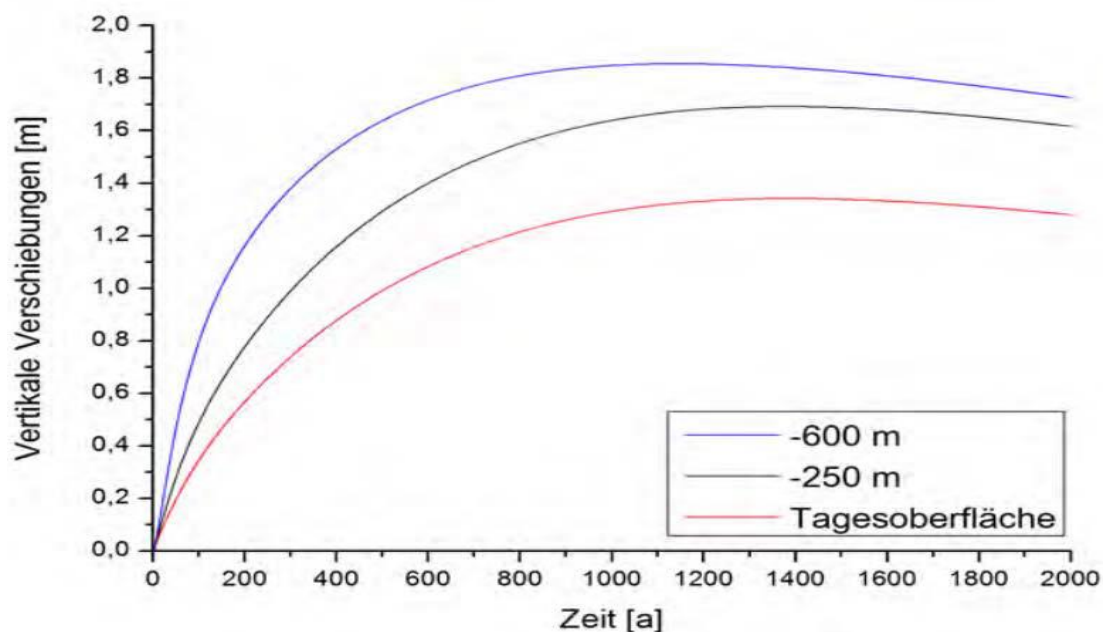
2.3.2.4 Wärmeabgabe und mögliche Abklingzeiten

6 Hoch radioaktive Abfallstoffe geben neben Strahlung erhebliche Menge Wärme ab, die nach der
 7 Endlagerung das umgebende Gestein aufheizt. Das kann dazu führen, dass sich die Erdoberfläche über
 8 einem Endlager später anhebt. Das Gestein im Bereich eines Endlagers für hoch radioaktive Abfälle
 9 kann sich durch die abgegebene Wärme zunächst mehrere Tausend Jahre lang ausdehnen und später
 10 durch Abkühlung über einen ähnlichen Zeitraum hin wieder schrumpfen. Bei diesem Prozess sollen
 11 keine Risse oder Wegsamkeiten im Gestein entstehen, die den sicheren Einschluss der Abfälle im dafür
 12 ausgewählten Gebirgsbereich beeinträchtigen. [Bislang hielt man auf lange Sicht erhebliche Hebungen
 13 der Erdoberfläche über einem Endlager in einem Salzstock für möglich:

14

Mögliche vertikale Verschiebungen über einem Endlager für hoch radioaktive Abfälle:⁴³

15



17

⁴² Tabelle nach: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016. S. 14.

⁴³ Aus: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (2016). Wärmeverträglichkeit/Gesteinsverträglichkeit. Gutachten im Auftrag der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe. K-MAT 64. S. 31. Die Grafik zeigt die möglichen vertikalen Verschiebungen über einem Endlager in Salz in 600 Meter und 250 Meter Tiefe und die mögliche Anhebung der Erdoberfläche. Bei anderen für die Endlagerung geeigneten Gesteinen geht es von einer geringeren vertikalen Verschiebung aus.

(Grafik soll in einen anderen Berichtsteil verschoben werden)

]

Die Begrenzung der Produktion hoch radioaktiver Abfallstoffe durch den Ausstieg aus der Kernenergie und längere Abklingzeiten der Abfälle, die sich auch schon durch den Zeitaufwand für die Standortauswahl ergeben, verringern den Wärmeeintrag in das Endlager. Die Wärmeleistung hoch radioaktiver Abfallstoffe nimmt in den ersten fünf Jahren nach der Entnahme abgebrannter Brennelemente aus dem Reaktorkern sehr stark ab. Bei Brennelementen aller Typen sinkt die Wärmeleistung in dieser Zeit auf 0,3 bis 0,1 Prozent des ursprünglichen Wertes. Je nach Art der Brennelemente kann sich die Wärmeleistung in den kommenden Jahrzehnten erneut halbieren und weiter absinken.

[Dies bietet Möglichkeiten durch geeignete Abklingzeiten den Wärmeeintrag in die Umgebung des Endlagers durch die Abfallstoffe zu verringern und die vor allem die in den ersten Jahrzehnten nach der Einlagerung zu erwartende Bewegung des Gesteins zu vermindern. Allerdings heizen hochradioaktive Abfallstoffe nach der Endlagerung das umgebende Gestein in jedem Fall erheblich auf. Das Gestein über lange Zeit hin erwärmt und leitet zugeführte Wärme je nach Gesteinstyp zunächst nur eingeschränkt weiter ab. (Fehlt noch Grafik zu kumulierten Wärmeeintrag)]

Gegenüber den Wärmeeinträgen durch abgebrannte Brennelemente der Leistungsreaktoren und durch hochradioaktive Abfallstoffe aus der Wiederaufarbeitung sind dabei die Einträge durch andere Abfälle zu vernachlässigen. Alle abgebrannten Brennelemente und sämtliche hoch radioaktiven Abfallstoffe aus der Wiederaufarbeitung, die bereits vorhanden oder noch zu erwarten sind, werden nach Berechnungen des Bundesumweltministerium im Jahr 2045 eine Wärmeleistung von fast 16 Megawatt haben. Dieser Wert wird bis zum Jahr 2085 auf knapp 9 Megawatt vermindern:

Erwartete Entwicklung der Wärmeleistung der hoch aktiven Abfälle⁴⁴

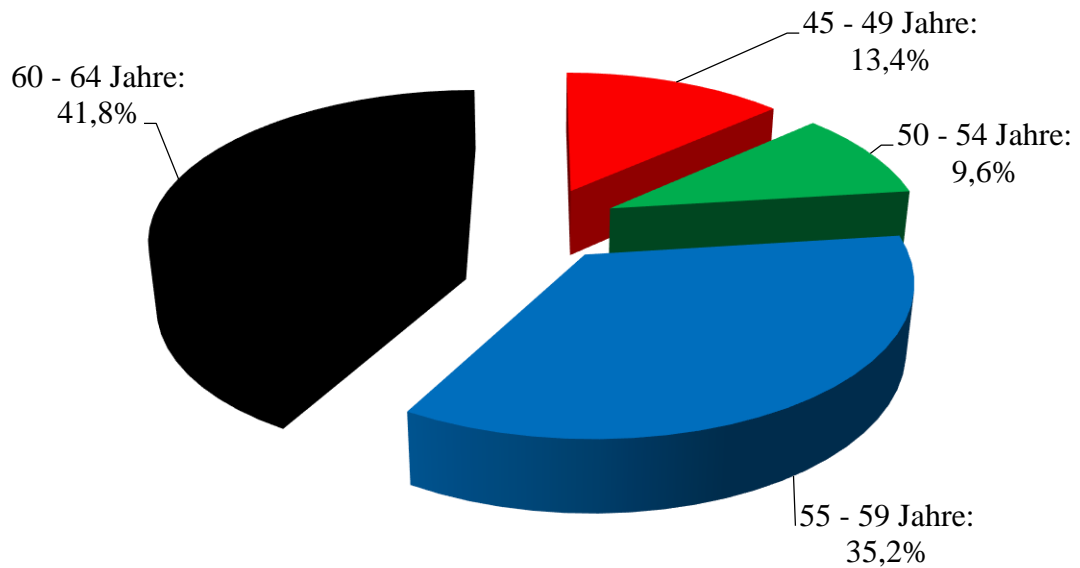
Abfallart	Zeitpunkt				
	2045	2055	2065	2075	2085
Bestrahlte Brennelemente	14,2 MW	12,2 MW	10,5 MW	9,2 MW	8,2 MW
Hoch radioaktive WAA-Abfälle	1,6 MW	1,3 MW	1,0 MW	0,8 MW	0,7 MW
Summe	15,8 MW	13,5 MW	11,5 MW	10,0 MW	8,9 MW

Da das Endlager für hoch radioaktive Abfallstoffe voraussichtlich mindestens drei Jahrzehnte in Betrieb sein wird, ergibt sich zudem die Möglichkeit zuerst ältere und nicht mehr so heiße Abfälle mit bereits längeren Abklingzeiten zu deponieren und darüber die Abklingzeiten anderer Abfälle zu verlängern. Hoch radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden im Jahr 2050 in der Regel eine Abklingzeit von mehr als 50 Jahren aufweisen:⁴⁵

⁴⁴ Tabelle nach: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016. S. 17.

⁴⁵ Grafik nach: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016. S. 16.

Alter der Glaskokillen im Jahr 2050



1
2

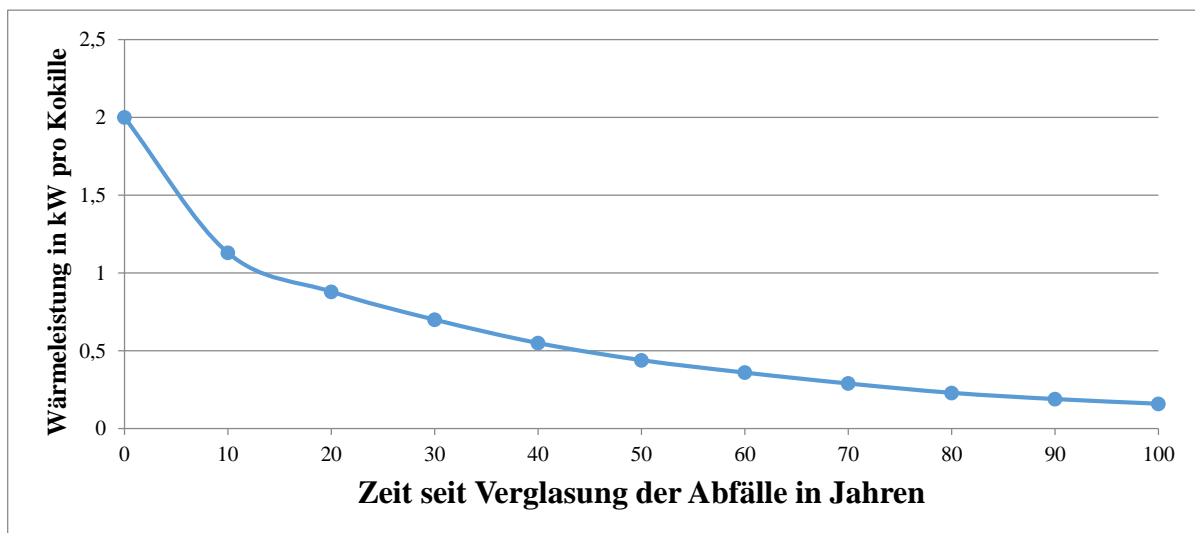
Anzahl der Kokillen mit WAA-Abfällen nach Abklingzeit in Jahren im Jahr 2050

Abfallart	45-49 Jahre	50-54 Jahre	55-59 Jahre	60-64 Jahre
Hoch radioaktive verglaste Abfälle	500	360	1.310	1.565
Mittel radioaktive verglaste Abfälle	19	13	50	58
Übrige mittel radioaktive Abfälle	550	395	1.445	1.714
Summen	1.069	768	2.805	3.337

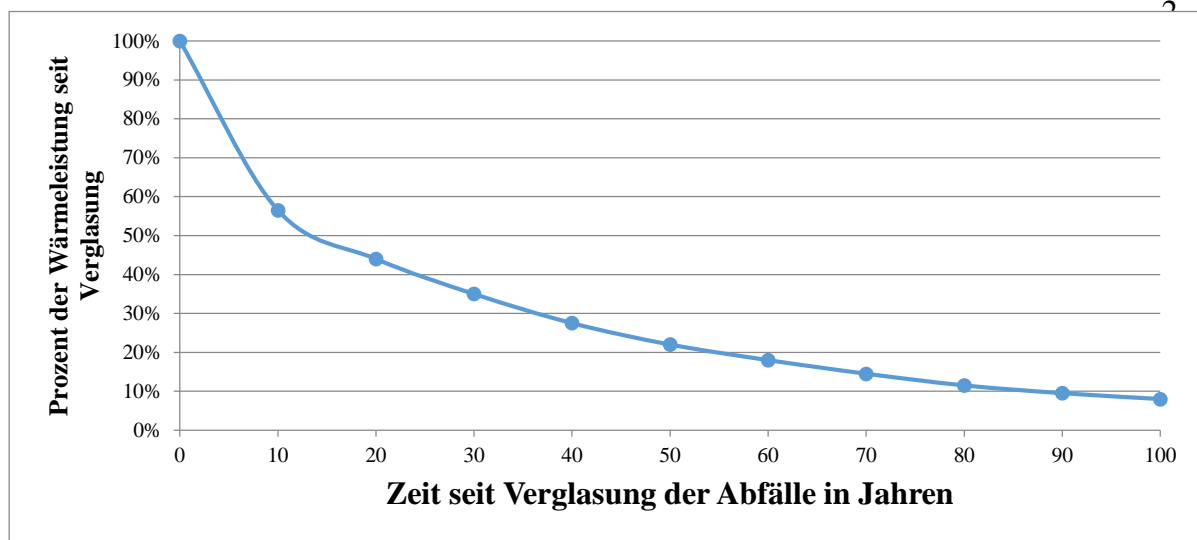
3

4 Bei den hoch radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung beginnt die Abklingzeit mit der
 5 Verglasung der Abfallstoffe, also der Produktion der Glaskokillen. Die Entnahme der in die
 6 Wiederaufarbeitung gelieferten Brennelemente aus Reaktorkernen liegt jeweils noch länger zurück. Die
 7 Wärmeleistung von Kokillen ist von vornherein weitaus geringer als die abgebrannter Brennelemente.
 8 Ab deren Herstellung der Kokillen nimmt deren Wärmeleistung binnen 15 Jahren auf etwa die Hälfte ab.
 9 Zwei Diagramme zeigen die zeitliche Entwicklung der Wärmeleistung von hoch radioaktiven Abfällen
 10 aus der Wiederaufarbeitung:

11 Zeitlicher Verlauf der Wärmeleistung von Kokillen mit hoch radioaktiven WAA-Abfällen



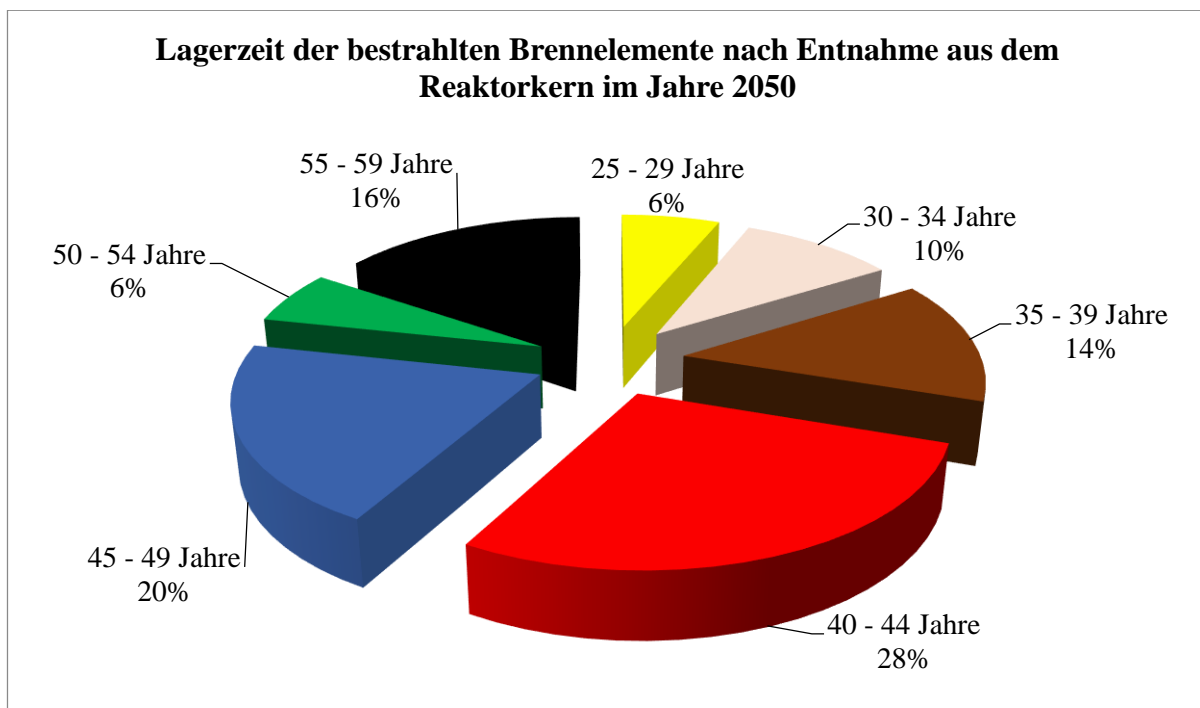
1 Prozentuale Abnahme der Wärmeleistung von Kokillen mit hoch radioaktiven WAA-Abfällen



17

18 Gesetzlich war in Deutschland zunächst die Wiederaufarbeitung und erst später die direkte Endlagerung
 19 bestrahlter Brennelemente vorgesehen. Die bestrahlten Brennelemente werden aus diesem Grund bei der
 20 Endlagerung im Schnitt kürzere Abklingzeiten aufweisen:⁴⁶

21



22

23

24

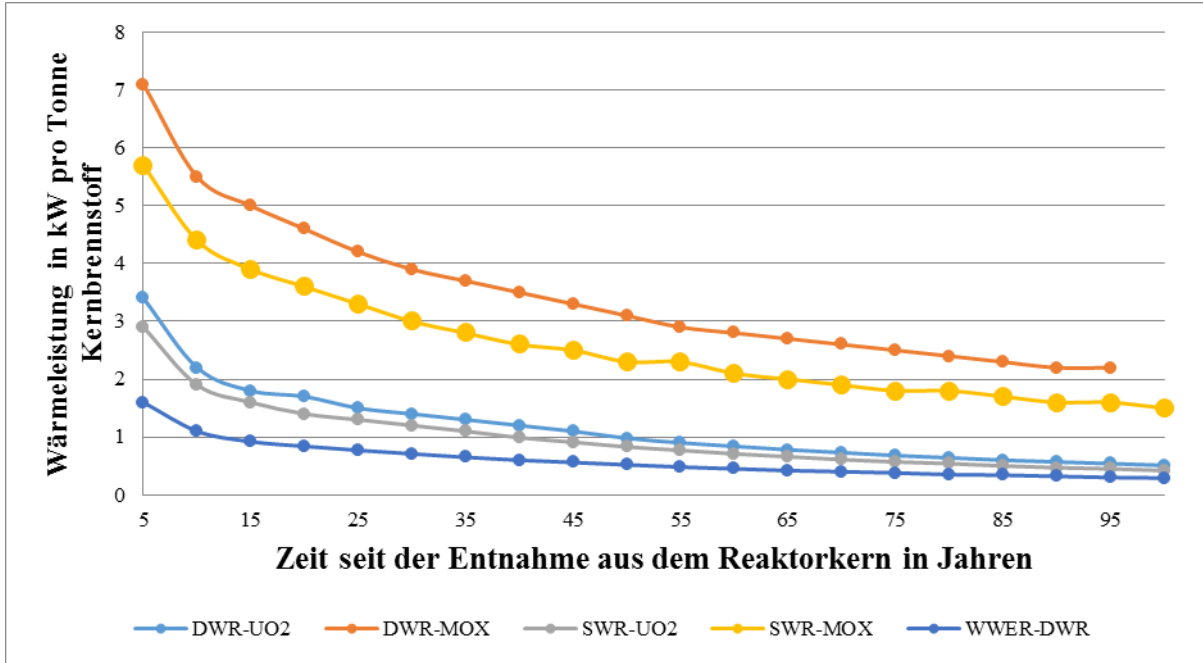
25 Die Wärmeleistung klingt je nach Typ der Brennelemente unterschiedlich schnell ab. Mischoxid-
 26 Brennelemente geben im Vergleich zu anderen bestrahlten Brennelementen über längere Zeiträume
 27 größere Wärmemengen ab:⁴⁷

⁴⁶ Tabelle nach: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016. S. 14.

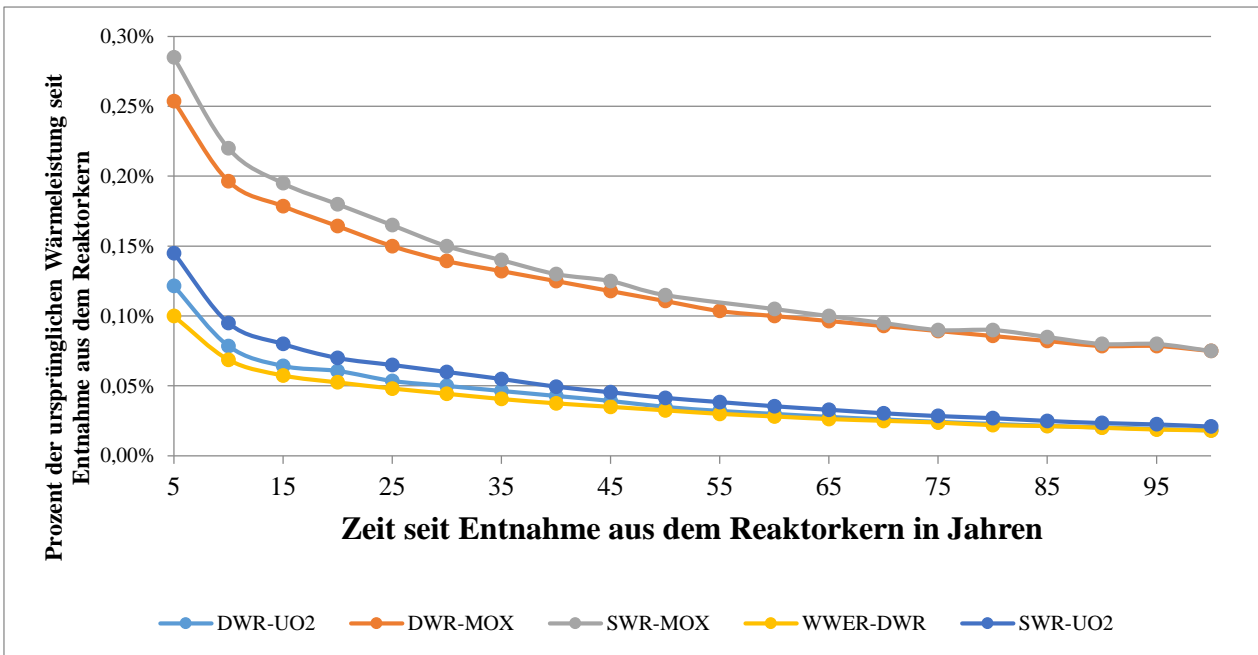
⁴⁷ Tabelle nach: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Auskunft an die Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe vom 2. Februar 2016. S. 15.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15

Wärmeleistung bestrahlter Brennelemente nach Abklingzeiten



Prozentuale Abnahme der Wärmeleistung nach Brennelementtyp und Abklingzeit



Einen Überblick über die erwartete Verteilung von Brennelementtypen auf Altersklassen und damit über deren Abklingzeiten gibt folgende Tabelle:

1 Erwartete Anzahl verschiedener Brennelemente in Altersklassen im Jahr 2050

2

Brennelementtyp	Zahl der Brennelemente je Altersklasse im Jahr 2050 (Gesamtinhalt an Kernbrennstoff in Tonnen)						
	25-29 Jahre	30-34 Jahre	35-39 Jahre	40-44 Jahre	45-49 Jahre	50-54 Jahre	55-59 Jahre
Druckwasserreaktor- Uranoxid	1.220 (635 t)	1.580 (820 t)	2.150 (1.120 t)	3.200 (1.680 t)	2.550 (1.300 t)	1.600 (800 t)	150 (60 t)
Druckwasserreaktor Mischoxid	60 (30 t)	110 (60 t)	160 (85 t)	700 (360 t)	450 (210 t)	50 (20 t)	
Siedewasserreaktor- Uranoxid	780 (135 t)	1.730 (295)	2.190 (370)	5.450 (950)	3.550 (610)	450 (75 t)	200 (30 t)
Siedewasserreaktor- Mischoxid	110 (20 t)		340 (60 t)	350 (60 t)	450 (80 t)		
WWR- Druckwasserreaktor							5.050 (580 t)
Summen	2.170 (820 t)	3.420 (1.175 t)	4.840 (1.635 t)	9.700 (3.050 t)	7.000 (2.200 t)	2.100 (895 t)	5.400 (670 t)

3

4 Der Wärmeeintrag in ein Endlager lässt sich zudem begrenzen durch angemessene Abklingzeiten, die
5 die unterschiedlichen Wärmeleistungen der Brennelementtypen einbeziehen. Die Verteilung der
6 Brennelemente und Abfälle aus der Wiederaufarbeitung auf die verschiedenen Altersklassen würde bei
7 einer Inbetriebnahme eines Endlagers im Jahr 2050 angesichts der notwendigen Einlagerungszeit eine
8 durchschnittliche Abklingzeit zwischen 50 und 60 Jahren ermöglichen. Die Wirkungen des
9 Wärmeeintrags auf das umgebende Gestein werden auch maßgeblich von der Konditionierung der hoch
10 radioaktiven Abfallstoffe und der gewählten Gesamtgröße und Gesamtfläche des Endlagerraumes
11 bestimmt.