

**Bundesamt für Strahlenschutz
BfS**

PSP-Nr.: WS 1004

**Ermittlung von Art und Menge chemotoxischer Stoffe in allen Arten
radioaktiver Abfälle und Bewertung ihrer Freisetzung im Hinblick auf
das Schutzziel des Wasserhaushaltsgesetzes**

****** ANHANG D ******

**Detaillierte Ergebnistabellen zum
Mengengerüst von BE + W in MTIHM
und zum gesamten Aktivitätsinventar
aller Abfälle vs. Zeit bei realer Akkumulation**

Abschlussbericht

28. Juni 2005

**B. Buchheim
Buchheim Engineering**

H. von Fellenberg, D. Rohr

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) erstellt. Das BfS behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des BfS zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt, bzw. Dritten zugänglich gemacht werden. Dieser Bericht gibt die Meinung und Auffassung des Auftragnehmers wieder und muss nicht in jedem Falle mit der Meinung des BfS übereinstimmen.

Inhaltsverzeichnis Anhang D

ANHANG D DETAILLIERTE ERGEBNISTABELLEN ZUM MENGENGERÜST VON BE + W IN MTHM UND ZUM GESAMTEN AKTIVITÄTSINVENTAR ALLER ABFÄLLE VS. ZEIT BEI REALER AKKUMULATION		5
D.0	Executive Summary	5
D.1	Modellierung des Brennelementkollektivs (BE) der Leistungsreaktoren, reale Akkumulation und MTHM	6
D.1.1	Modellierung von AVR- und THTR- Brennelementen und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars	6
D.1.2	Modellierung des Brennelementkollektivs der Leichtwasserreaktoren und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars	7
D.2	Modellierung der Wiederaufarbeitungsabfälle (W), reale Akkumulation und MTHM	11
D.2.1	Modellierung der hochaktiven Abfälle von COGEMA und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars	11
D.2.2	Modellierung der mittelaktiven Abfälle von COGEMA und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars	12
D.2.3	Modellierung der hochaktiven Abfälle von BNFL und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars	13
D.2.4	Modellierung der mittel- und schwachaktiven Abfälle von BNFL und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars	14
D.2.5	Modellierung der hochaktiven Abfälle der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars	17
D.2.6	Modellierung der mittelaktiven Abfälle aus UKAEA Dounreay und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars	18
D.2.7	Modellierung des Kernbrennstoffinventars aus dem Forschungsreaktor Rossendorf und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars	19
D.2.8	Modellierung des Kernbrennstoffinventars aus den Siemens Unterrichtsreaktoren (SUR) und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars	20
D.2.9	Modellierung der Brennstäbe des NS Otto Hahn und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars	20
D.2.10	Modellierung des Kernbrennstoffinventars aus den zur direkten Endlagerung vorgesehenen Forschungsreaktoren und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars	21
D.3	Modellierung des gesamten Aktivitätsinventars an BE + W vs. Zeit, reale Akkumulation und MTHM	23
D.4	Modellierung des gesamten Aktivitätsinventars aller Abfälle vs. Zeit bei realer Akkumulation	25
D.5	Literaturverzeichnis	26
D.5.1	Verwendete Abkürzungen	26

Tabellenverzeichnis Anhang D

Tabelle 1: Anzahl Brennelemente, Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] des akkumulierten BE-Inventars von AVR und THTR, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030	7
Tabelle 2: Mittlerer Abbrand, Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] des akkumulierten BE-Inventars der Druckwasserreaktoren, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030	9
Tabelle 3: Mittlerer Abbrand, Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] des akkumulierten BE-Inventars der Siedewasserreaktoren, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030	10
Tabelle 4: Mittlerer Abbrand, Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] des akkumulierten BE-Inventars der Reaktoren von Greifswald und Rheinsberg, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030	10
Tabelle 5: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] des akkumulierten BE-Inventars der Leistungsreaktoren, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030	11
Tabelle 6: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] des akkumulierten, bei COGEMA zu HAW Glas wiederaufgearbeiteten Brennstoffinventars, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)	12
Tabelle 7: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der akkumulierten, bei COGEMA wiederaufgearbeiteten Hülsen und Endstücke, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)	12
Tabelle 8: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der akkumulierten bituminierten Fällungen und Konzentrate, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)	13
Tabelle 9: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der akkumulierten BNFL Blended Glass Gebinde, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)	14
Tabelle 10: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der akkumulierten, bei BNFL wiederaufgearbeiteten Hülsen und Endstücke, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)	15
Tabelle 11: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der akkumulierten BNFL MEB- und BaCO ₃ -Schlämme zementiert, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)	15
Tabelle 12: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der akkumulierten BNFL MEB- und BaCO ₃ -Schlämme zementiert, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)	16
Tabelle 13: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] des akkumulierten BNFL schwachaktiven technologischen Abfalls (SLLR) zementiert, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)	17
Tabelle 14: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der WAK-VEK HAW- Glaskokillen, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)	18
Tabelle 15: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der UKAEA ILR zementierten Abfälle, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)	18
Tabelle 16: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der BE der drei Reaktoren des Standortes Rossendorf, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)	19

Tabelle 17: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] der Siemens Unterrichtsreaktoren SUR 100, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030.....	20
Tabelle 18: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] der 52 in Geesthacht gelagerten Brennstäbe des NS Otto Hahn, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030.....	21
Tabelle 19: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] der direkt zu entsorgenden BE der vier bis zum Jahr 2010 weiter in Betrieb stehenden Forschungsreaktoren, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr).....	22
Tabelle 20: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] der BE, welche der direkten Endlagerung zugeführt werden, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030.....	23
Tabelle 21: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] der aus der Wiederaufarbeitung zurückkommenden Abfälle, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030.	24
Tabelle 22: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] des gesamten der Endlagerung zugeführten Inventars von BE und W, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030.	25
Tabelle 23: Aktivität [Bq] des gesamten der Endlagerung zugeführten Inventars der o.g. Herkunfts-kategorien, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030 und unterteilt in die acht Kategorien direkte Endlagerung (BE), Forschungseinrichtungen (F), Kerntechnische Industrie (I), Betriebsabfälle (K), Landessammelstellen (L), Stilllegungsabfälle (S), sonstige Ablieferungspflichtige (U), sowie Wiederaufarbeitung (W).	26

ANHANG D Detaillierte Ergebnistabellen zum Mengengerüst von BE + W in MTIHM und zum gesamten Aktivitätsinventar aller Abfälle vs. Zeit bei realer Akkumulation

D.0 Executive Summary

Dieser Bericht enthält die detaillierten Ergebnistabellen zum Aktivitätsinventar (in Bq) und Mengengerüst (in MTIHM) der Herkunftskategorien BE (direkt endgelagerte Brennelemente) und W (Wiederaufarbeitung), sowie die von den anderen Herkunftskategorien F, I, K, L, S, U übernommenen Aktivitätsinventare. Dabei werden die anfallenden Nuklidinventare jeweils zeitgerecht real akkumuliert (Zwiebelschalen-prinzip) und anschliessend auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030 hochgerechnet. Von diesem Zeitpunkt an werden die Inventare jeweils zu den Zeitpunkten 30, 50, 100, 300, 1.000, 3.000, 10.000, 30.000, 100.000, 300.000, 1 Million Jahre berechnet.

Im ersten Teil des Berichtes wird das Brennelementkollektiv der Leistungsreaktoren modelliert. Dazu gehören die beiden Hochtemperaturreaktoren AVR und THTR, die 14 Druckwasserreaktoren (DWR) BBGA, BBGB, KBR, KKE, KKG, KWG, KI2, GKN1, GKN2, KWO, KKP2, KKS, KKR, MKA, die 9 Siedewasserreaktoren (SWR) KKB, KGA, KGGB, KGGC, KI1, KKK, KWL, KKP1, KWW, sowie die 6 Druckwasserreaktoren russischer Bauart KGR1-5, KKR.

Für DWR und SWR wurde die Betriebsgeschichte ab 1985 pro Jahr und Reaktor anhand der öffentlich zugänglichen Information bestmöglich rekonstruiert. Die Betriebsgeschichte bis 1985 wurde mit den bis dann produzierten Bruttoenergiemengen berücksichtigt. Technische Daten wie Leistung, Brennstoffinventar, Anzahl Brennelemente, Uran-Anreicherung, geplanter Entladeabbrand wurden der Literatur entnommen. Aus den jährlich publizierten produzierten Bruttoenergiemengen wurden die jährlichen Entlademengen, bezogen auf den geplanten Entladeabbrand, berechnet. Für die Zeitperiode ab dem 01.01.2000 und die Zukunft wurde die Reststromvereinbarung berücksichtigt. Die Restlaufzeit jedes Kernkraftwerkes wurde aus der mittleren Verfügbarkeit der besten 5 Jahre der Periode 1990 bis 1999 berechnet. Die Umlegung der für MKA reservierten Reststrommenge auf andere Kernkraftwerke wurde berücksichtigt, ebenso die vorzeitige Stilllegung von KKS im Dezember 2003. Weiter wurden die Letztkerne mit ihren jeweiligen mittleren Entladeabbränden berücksichtigt. Für die beiden bereits im Januar 1977 abgeschalteten Reaktoren KGA und KWL wurde die gesamte produzierte Bruttoenergiemenge und das gesamte über die Lebensdauer eingesetzte Brennstoffinventar berücksichtigt. Für KGR1-5 und KKR wurde das in Deutschland verbliebene Brennstoffkassetteninventar berücksichtigt.

Bei den Wiederaufarbeitungsabfällen (W) wurden folgende Abfallsorten berücksichtigt: die hochaktiven Abfälle (HAA-Glas) von COGEMA, die mittelaktiven Abfälle (Hülsen&Endstücke, bituminierte Fällungen und Konzentrate) von COGEMA, die hochaktiven Abfälle (HAA-Glas) von BNFL, die mittelaktiven Abfälle (Hülsen&Endstücke, MEB- und BaCO₃-Schlämme, Feedklärschlämme) und schwachaktiven Abfälle (Solid Low Level Residues) von BNFL, die hochaktiven Abfälle (HAA-Glas) aus der WAK, die mittelaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung von deutschen Materialtestreaktor-(MTR) BE in UKAEA Dounreay.

Für die direkte Endlagerung von BE wurden im Mengengerüst (in MTIHM) und für das Aktivitätsinventar ebenfalls berücksichtigt: die Brennelemente (BE) aus dem Forschungsreaktor Rossendorf (RFR, RAKE, RRR), die BE aus Siemens Unterrichtsreaktoren (SUR), die restlichen BE aus dem NS Otto Hahn (exkl. BE zur Wiederaufarbeitung in der WAK) sowie die zur direkten Endlagerung vorgesehenen Brennelemente der Forschungsreaktoren bis 2010. Für die verschiedenen Abfallsorten und Herkunftskategorien wurden der jährliche Anfall sowie der Nuklidzerfall bis zum Referenzzeitpunkt 01.01.2030 jeweils abfallsorten-spezifisch berücksichtigt.

Anschliessend wurden die Aktivitätsinventare von BE und W addiert und konsolidiert im Hinblick auf die direkte Endlagerung der (endlagerfähig konditionierten) BE und die aus der Wiederaufarbeitung von entladenen BE zu erwartenden Wiederaufarbeitungsabfälle W.

Zum Schluss wurden die Aktivitätsinventare aus allen acht Herkunftskategorien BE, F, I, K, L, S, U, W zu einem Gesamtaktivitätsinventar aller Abfälle aus der Kernenergienutzung als Funktion der Zeit bis 1 Mio. Jahre ab 01.01.2030 berechnet.

Ein Literaturverzeichnis und eine Liste der verwendeten Abkürzungen schliessen den Bericht ab.

D.1 Modellierung des Brennelementkollektivs (BE) der Leistungsreaktoren, reale Akkumulation und MTIHM

D.1.1 Modellierung von AVR- und THTR- Brennelementen und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars

Das erste deutsche Versuchskernkraftwerk, AVR, mit einem heliumgekühlten und graphitmoderierten Hochtemperaturreaktor (HTR) und kugelförmigen Brennelementen (BE) wurde Mitte 1967 von der Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor (AVR) in Betrieb genommen. Die elektrische Leistung betrug 15 MW. Bis etwa 1981 wurden fast ausschliesslich BE mit hoch angereichertem Uran (High Enriched Uranium, HEU) eingesetzt, danach hauptsächlich BE mit niedrig angereichertem Uran (Low Enriched Uranium, LEU). Im Dezember 1988 wurde der Reaktor abgeschaltet.

Als Folgeanlage mit diesem Reaktortyp wurde 1985 das prototypische Thorium-Hochtemperatur-Reaktor-Kraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 300 MW (THTR 300) in Betrieb genommen. Dabei wurden ausschliesslich Brennelemente mit hoch angereichertem Uran (HEU-BE) eingesetzt. Bereits nach ca. dreijähriger Betriebszeit wurde 1989 die Stilllegung der Anlage beschlossen und der Reaktor nach der Abschaltung im Sept. 1988 nicht mehr in Betrieb genommen.

Zur Entwicklung eines HTR-BE mit optimalen Betriebseigenschaften wurden im Versuchsreaktor AVR grosse Stückzahlen von BE für verschiedene BE-Konzepte eingesetzt und erprobt. Gemeinsames Merkmal aller Konzepte ist eine Graphitkugel mit einem Durchmesser von ca. 60 mm, in die der Brenn- und Brutstoff in Form von kohlenstoffbeschichteten Partikeln (coated particles) eingebettet ist. Insgesamt wurden 13 verschiedene BE-Typen entwickelt und im AVR verwendet, die anschliessend für die weitere Betrachtung in 5 Gruppen zusammengefasst wurden, welche HEU-1, HEU-2, LEU-3, LEU-4, LEU-5 genannt werden. Der schliesslich im THTR verwendete BE-Typ, GO-THTR, gehört zur Gruppe HEU-2.

Der Aufbau der Nuklidinventare der verschiedenen BE-Typen während der Bestrahlung und der anschliessende Zerfall wurde mit dem SCALE 4.4a Programmsystem [1] modelliert. Die Eigenschaften der BE, die Bestrahlungsgeschichte des AVR und die Abbrände der verschiedenen BE-Gruppen wurden so weit wie möglich aus der zugänglichen Literatur bestimmt [3]. Beim THTR wurde eine einzige Betriebsperiode modelliert.

Die Nuklidinventare der bestrahlten BE (bezogen auf das Ende der Bestrahlung) wurden in das Rechenprogramm Origen 2.1 [2] importiert, um die Inventare für AVR und THTR bezogen auf den Referenzzeitpunkt vom 01.01.2030 zu bilden und anschliessend bis 1 Million Jahre zerfallen zu lassen.

Die Verunreinigungen der BE wurden speziell berücksichtigt, um den Aufbau und Zerfall von sicherheitsrelevanten Nukliden wie H-3, Cl-36, Se-79, Tc-99 und I-129 zu modellieren. Tritium (H-3) stammt dabei vor allem aus Lithium-Verunreinigungen mittels der Reaktion $\text{Li-6} (n, \alpha) \text{H-3}$, während der Anteil als Spaltprodukt rund eine Grössenordnung kleiner ist. C-14 entsteht aus Stickstoff-Verunreinigungen durch die Reaktion $\text{N-14} (n, p) \text{C-14}$. Der Anteil an C-14, welches aus Spaltungen stammt, ist um mehrere Grössenordnungen geringer. Cl-36 entsteht aus Chlor-Verunreinigungen durch Neutroneneinfang an Cl-35. Die weiteren Nuklide Se-79, Tc-99 und I-129 sind Spaltprodukte. Bei Se-79 war in der jüngeren Vergangenheit eine Kontroverse um die Halbwertszeit entbrannt. Der heute gültige Wert beträgt 295.000 Jahre, gegenüber den früher benutzten 65.000 Jahren. Beim Vergleich von aktuellen mit früher gerechneten Aktivitätswerten für Se-79 ist diesem Umstand Rechnung zu tragen (bei gleicher Masse Se-79 beträgt die heute berechnete Aktivität 22 % der früheren).

Die folgende Tabelle zeigt die Anzahl BE des gesamten BE-Inventars für AVR und THTR, wobei beim THTR die wirklich entladenen BE (617606) und die gemäss Abschätzung in der Anlage verbliebenen BE (2198) getrennt aufgeführt sind (Zeile THTR-Core), weiter die Gesamtmasse Schwermetall (MTIHM), die während der Betriebsphase der beiden Reaktoren zum Einsatz kam, gefolgt von den Aktivitäten in Becquerel [Bq] ab dem Referenzzeitpunkt 01.01.2030 bis 1 Million Jahre.

	Anzahl BE	MTIHM	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
AVR (entl.)	290.705	2,09268	3,69E+16	1,82E+16	1,15E+16	3,85E+15	2,83E+14
THTR (entl.)	617.606	6,93572	5,85E+16	2,88E+16	1,81E+16	5,71E+15	1,51E+14
THTR-Core (restl. BE)	2.198	0,02468	2,08E+14	1,03E+14	6,44E+13	2,03E+13	5,37E+11
Summe	910.509	9,05308	9,56E+16	4,72E+16	2,97E+16	9,58E+15	4,34E+14

	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
AVR (entl.)	1,11E+14	7,02E+13	8,01E+13	8,57E+13	6,59E+13	3,20E+13	3,98E+12
THTR (entl.)	8,52E+13	1,27E+14	2,29E+14	3,04E+14	2,42E+14	1,07E+14	7,75E+12
THTR-Core (restl. BE)	3,03E+11	4,50E+11	8,15E+11	1,08E+12	8,62E+11	3,80E+11	2,76E+10
Summe	1,96E+14	1,97E+14	3,10E+14	3,91E+14	3,09E+14	1,39E+14	1,18E+13

Tabelle 1: Anzahl Brennelemente, Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] des akkumulierten BE-Inventars von AVR und THTR, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030

D.1.2 Modellierung des Brennelementkollektivs der Leichtwasserreaktoren und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars

Die Leichtwasserreaktoren umfassen 14 Druckwasserreaktoren: Biblis A (BBGA), Biblis B (BBGB), Brokdorf (KBR), Emsland (KKE), Grafenrheinfeld (KKG), Grohnde (KWG), Isar 2 (KI2), Neckar 1 (GKN1), Neckar 2 (GKN2), Obrigheim (KWO), Philippsburg 2 (KKP2), Stade (KKS), Unterweser (KKU), Mülheim-Kärlich (MKA), 9 Siedewasserreaktoren: Brunsbüttel (KKB), Gundremmingen A (KGA), Gundremmingen B (KGGB), Gundremmingen C (KGGC), Isar 1 (KI1), Krümmel (KKK), Lingen (KWL), Philippsburg 1 (KKP1), Würgassen (KWW), sowie die 6 Reaktoren russischer Bauart der Energiewerke Nord (KGR1-5, KKR).

Für die Druckwasserreaktoren (DWR) und Siedewasserreaktoren (SWR) wurde die Betriebsgeschichte ab 1985 pro Jahr und Reaktor anhand der öffentlich zugänglichen Information des World Nuclear Industry Handbook (WNIH) [4] und der Zeitschrift Atomwirtschaft (atw) [5] bestmöglich rekonstruiert. Die Betriebsgeschichte bis 1985 wurde mit den bis dann produzierten Bruttoenergiemengen berücksichtigt. Technische Daten wie Leistung, Brennstoffinventar, Anzahl Brennelemente, Uran-Anreicherung, geplanter Entladeabbrand wurden dem WNIH entnommen. Aus den jährlich publizierten produzierten Bruttoenergiemengen wurden die jährlichen Entlademengen, bezogen auf den geplanten Entladeabbrand, berechnet. Für die Zeitperiode ab dem 01.01.2000 und die Zukunft wurde die Reststromvereinbarung berücksichtigt. Die Restlaufzeit jedes Kernkraftwerkes wurde aus der mittleren Verfügbarkeit der besten 5 Jahre der Periode 1990 bis 1999 berechnet. Die Umlegung der für MKA reservierten Reststrommenge auf andere Kernkraftwerke wurde berücksichtigt, ebenso die vorzeitige Stilllegung von KKS im Dezember 2003. Weiter wurden die Letztkerne mit ihren jeweiligen mittleren Entladeabbränden berücksichtigt. Für die beiden bereits im Januar 1977 abgeschalteten Reaktoren KGA und KWL wurde die gesamte produzierte Bruttoenergiemenge und das gesamte über die Lebensdauer eingesetzte Brennstoffinventar berücksichtigt.

Die Modellierung der Nuklidinventare erfolgte mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 [2]. Die 21 Reaktoren wurden in 11 Abbrandklassen aufgeteilt (7 für DWR und 4 für SWR, jeweils inklusive einer Klasse für die Letztkerne). In jeder Abbrandklasse wurde zunächst die einer Tonne Schwermetall entsprechende Masse Brennstoff (inkl. Verunreinigungen) und Strukturmaterial (Hüllrohre, Kopf- und Fussstücke, Abstandshalter, Plenumfedern, weitere Kleinteile, Al₂O₃-Tabletten) mit der dieser Abbrandklasse entsprechenden Anreicherung und Leistung abgebrannt. Anschliessend wurden die gemäss (realer oder geplanter) Betriebsgeschichte jährlich entladene Brennstoffmengen zwiebelschalenartig Jahr für Jahr akkumuliert und schliesslich der Zerfall bis Referenzzeitpunkt 01.01.2030 berechnet.

Für die mittlere Anreicherung an U-235 der in den Reaktoren eingesetzten BE liegen im WNIH [4] Planungsdaten für den Erstkern und allenfalls für die ersten Nachladungen vor, die Betriebserfahrung und der technische Fortschritt werden dabei aber nicht einbezogen. Um konsistent modellieren zu können, wurde deshalb die folgende Faustformel für die Anfangsanreicherung in Funktion des Entladeabbrandes verwendet:

$$\text{Anreicherung U-235 [Gewichts-\%]} = 1,2 + (\text{Abbrand [MWD/MTIHM]} / 10.000) * 0,6$$

So entspricht eine Anreicherung von 3,3 Gew-% U-235 einem Entladeabbrand von 35.000 MWD/MTIHM, eine Anreicherung von 4,2 Gew-% 50.000 MWD/MTIHM. Diese Faustformel kann bis zu einem Entladeabbrand von 60.000 MWD/MTIHM verwendet werden.

Die Massen und Zusammensetzungen der Strukturmaterialien für DWR und SWR wurden aus [6] übernommen, wobei die Verunreinigungen durch Li, N und Cl speziell im Hinblick auf die Erzeugung sicherheitsrelevanter Nuklide wie H-3, C-14, Cl-36 kritisch überprüft wurden. Die Strukturmaterialien wurden gemäss der in [6] angegebenen axialen Flussverteilung bestrahlt.

Für die Kraftwerke KGR1-5 und KKR wurde ein Grossteil der abgebrannten Brennstoffkassetten zum Hersteller zurückgeschickt, ein weiterer Teil ins Ausland verkauft. Die restliche Menge Brennstoffkassetten wurde so modelliert, wie wenn sie Ende 1990 aus den Reaktoren entnommen worden wären. Für die Strukturteile wurden die Massen und Zusammensetzungen wie für DWR-BE unterstellt, wobei jedoch Zircaloy-4 durch die Legierung ZrNb1 ersetzt wurde.

Gültigkeit der verwendeten Modellierung:

Aus der Betriebsgeschichte der Leistungsreaktoren seit Inbetriebnahme bis heute und der Reststromvereinbarung lässt sich die über die gesamte Lebensdauer jedes Reaktors produzierte elektrische und daraus die thermische Energie berechnen. Somit ist die Anzahl Kernspaltungen und das dabei entstehende Inventar an Spaltprodukten in erster Näherung gegeben. Eine Variation der U-235-Anreicherung des Brennstoffs eines Reaktors bei gleicher Energieerzeugung verändert somit weder die Masse der erzeugten Spaltprodukte noch die Masse des Brennstoffs und der Strukturteile, sondern allenfalls geringfügig die Zusammensetzung der Spaltprodukte, hervorgerufen durch eine Veränderung des Verhältnisses der Kernspaltungen von U-235 gegenüber Pu-239 und Pu-241. Ebenso verschiebt sich die Zusammensetzung der Aktiniden bei konstanter Masse leicht.

Eine Erhöhung des Entladeabbrandes, mit oder ohne Erhöhung der Anreicherung, reduziert ihrerseits die Masse des Brennstoffs und der Strukturteile, lässt aber die Masse der erzeugten Spaltprodukte konstant. Solange also das radiologische Gefährdungspotential von Spaltprodukten dominiert wird, sind die Ergebnisse bei gleichbleibender Energieproduktion stabil gegenüber kleinen Änderungen des Abbrandes und der Entlademenge.

Die folgenden Tabellen zeigen die mittleren Abbrände, die Gesamtmasse bestrahlten Schwermetalls [MTIHM] sowie die Aktivität in Becquerel [Bq] des gesamten BE-Inventars der Leistungsreaktoren ab dem Referenzzeitpunkt 01.01.2030 bis 1 Million Jahre, unterteilt in die Leistungsreaktortypen der Druckwasserreaktoren, der Siedewasserreaktoren sowie der Reaktoren von Greifswald (KGR) und Rheinsberg (KKR).

Die Energieproduktion des einzigen Kernes von MKA ist in der Zeile DWR Letztkerne berücksichtigt.

Reaktoren	mittlerer Abbrand [MWD/ MTIHM]	Masse Brennstoff [MTIHM]	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
KWO	31.000	359,192	2,25E+18	1,07E+18	6,80E+17	2,58E+17	5,61E+16
BBGA, BBGB, KKS	35.696	2.311,266	1,79E+19	8,44E+18	5,35E+18	1,99E+18	3,93E+17
GKN1, K KU	40.601	1.543,544	1,41E+19	6,63E+18	4,19E+18	1,54E+18	2,81E+17
KKE, KKG, KKP2	44.009	2.925,182	3,52E+19	1,60E+19	1,00E+19	3,55E+18	5,62E+17
KWG, KI1, GKN2	47.995	2.777,116	3,85E+19	1,73E+19	1,08E+19	3,79E+18	5,60E+17
KBR	50.500	871,573	1,26E+19	5,68E+18	3,55E+18	1,24E+18	1,80E+17
DWR Letztkerne inkl. MKA	20.818	925,317	8,48E+18	3,35E+18	2,04E+18	7,00E+17	1,17E+17
Summe DWR		11.713,190	1,29E+20	5,84E+19	3,66E+19	1,31E+19	2,15E+18

Reaktoren	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
KWO	2,25E+16	8,47E+15	5,28E+15	2,39E+15	7,27E+14	4,60E+14	2,81E+14
BBGA, BBGB, KKS	1,54E+17	5,68E+16	3,52E+16	1,60E+16	5,13E+15	3,34E+15	1,98E+15
GKN1, K KU	1,08E+17	3,94E+16	2,44E+16	1,11E+16	3,75E+15	2,49E+15	1,43E+15
KKE, KKG, KKP2	2,11E+17	7,69E+16	4,76E+16	2,16E+16	7,52E+15	5,07E+15	2,85E+15
KWG, KI1, GKN2	2,06E+17	7,50E+16	4,63E+16	2,11E+16	7,61E+15	5,22E+15	2,87E+15
KBR	6,56E+16	2,40E+16	1,48E+16	6,75E+15	2,49E+15	1,72E+15	9,30E+14
DWR Letztkerne inkl. MKA	4,80E+16	1,94E+16	1,23E+16	5,55E+15	1,48E+15	8,58E+14	5,60E+14
Summe DWR	8,15E+17	3,00E+17	1,86E+17	8,45E+16	2,87E+16	1,92E+16	1,09E+16

Tabelle 2: Mittlerer Abbrand, Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] des akkumulierten BE-Inventars der Druckwasserreaktoren, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030

Reaktoren	mittlerer Abbrand [MWD/ MTIHM]	Masse Brennstoff [MTIHM]	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
KGA, KWL	16.600	154,000	4,25E+17	2,13E+17	1,40E+17	5,76E+16	1,56E+16
KWW	27.600	314,162	1,58E+18	7,65E+17	4,94E+17	1,95E+17	4,62E+16
KKB, KI2	35.768	1.146,012	9,38E+18	4,39E+18	2,79E+18	1,04E+18	1,99E+17
KGGB, KGGC, KKK, KKP1	40.335	3.465,545	3,65E+19	1,67E+19	1,05E+19	3,82E+18	6,48E+17
SWR-Letztkerne	19.319	617,738	5,12E+18	2,10E+18	1,28E+18	4,46E+17	7,57E+16
Summe SWR		5.697,457	5,30E+19	2,42E+19	1,52E+19	5,55E+18	9,85E+17

Reaktoren	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
KGA, KWL	7,25E+15	3,65E+15	2,36E+15	1,07E+15	2,74E+14	1,42E+14	8,90E+13
KWW	1,82E+16	6,92E+15	4,37E+15	2,03E+15	6,23E+14	3,72E+14	2,27E+14
KKB, KI2	7,48E+16	2,74E+16	1,72E+16	8,00E+15	2,70E+15	1,69E+15	9,76E+14
KGGB, KGGC, KKK, KKP1	2,37E+17	8,60E+16	5,38E+16	2,52E+16	8,90E+15	5,70E+15	3,18E+15
SWR-Letztkerne	3,02E+16	1,22E+16	7,81E+15	3,61E+15	9,91E+14	5,48E+14	3,54E+14
Summe SWR	3,67E+17	1,36E+17	8,55E+16	3,99E+16	1,35E+16	8,46E+15	4,83E+15

Tabelle 3: Mittlerer Abbrand, Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] des akkumulierten BE-Inventars der Siedewasserreaktoren, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030

Für die Brennelemente in KGR1-5 sind zwei verschiedene Entladeabbrände spezifiziert, nämlich 35000 und 42000 MWD/MTIHM.

Reaktoren	mittlerer Abbrand [MWD/ MTIHM]	Masse Brennstoff [MTIHM]	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
KGR1-5	35.000	439,660	2,95E+18	1,42E+18	9,06E+17	3,42E+17	7,07E+16
KGR1-5	42.000	115,640	9,12E+17	4,39E+17	2,81E+17	1,06E+17	2,13E+16
KKR	14.000	28,500	7,98E+16	3,81E+16	2,44E+16	9,56E+15	2,44E+15
Summe KGR, KKR		583,800	3,95E+18	1,89E+18	1,21E+18	4,57E+17	9,44E+16

Reaktoren	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
KGR1-5	2,80E+16	1,05E+16	6,59E+15	3,01E+15	9,64E+14	6,27E+14	3,68E+14
KGR1-5	8,23E+15	3,04E+15	1,89E+15	8,56E+14	2,90E+14	1,93E+14	1,10E+14
KKR	1,11E+15	5,14E+14	3,35E+14	1,53E+14	3,71E+13	1,98E+13	1,34E+13
Summe KGR, KKR	3,74E+16	1,41E+16	8,81E+15	4,02E+15	1,29E+15	8,40E+14	4,92E+14

Tabelle 4: Mittlerer Abbrand, Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] des akkumulierten BE-Inventars der Reaktoren von Greifswald und Rheinsberg, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030

Die folgende Tabelle zeigt die Summe über die in den vorherigen Tabellen aufgeführten Leistungsreaktoren.

Reaktoren	Masse Brennstoff [MTIHM]	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
Summe DWR	11.713,190	1,29E+20	5,84E+19	3,66E+19	1,31E+19	2,15E+18
Summe SWR	5.697,457	5,299E+19	2,42E+19	1,52E+19	5,55E+18	9,85E+17
Summe KGR, KKR	583,800	3,945E+18	1,89E+18	1,21E+18	4,57E+17	9,44E+16
Summe Leichtwasser- reaktoren	17.994,447	1,86E+20	8,45E+19	5,30E+19	1,91E+19	3,23E+18

Reaktoren	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
Summe DWR	8,15E+17	3,00E+17	1,86E+17	8,45E+16	2,87E+16	1,92E+16	1,09E+16
Summe SWR	3,67E+17	1,36E+17	8,55E+16	3,99E+16	1,35E+16	8,46E+15	4,83E+15
Summe KGR, KKR	3,74E+16	1,41E+16	8,81E+15	4,02E+15	1,29E+15	8,40E+14	4,92E+14
Summe Leichtwasser- reaktoren	1,22E+18	4,50E+17	2,80E+17	1,28E+17	4,35E+16	2,85E+16	1,62E+16

Tabelle 5: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] des akkumulierten BE-Inventars der Leistungsreaktoren, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030

D.2 Modellierung der Wiederaufarbeitungsabfälle (W), reale Akkumulation und MTIHM

D.2.1 Modellierung der hochaktiven Abfälle von COGEMA und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars

Für die Berechnung der Nuklidinventare und Aktivitäten der aus der Wiederaufarbeitung bei COGEMA erwarteten hochaktiven (HAW) Glaskokillen wurde ein Standard DWR BE mit einer Anreicherung von 3,5 Gewichts-% U-235 und einem mittleren Abbrand von 33.000 MWD/MTIHM bei einer Leistung von 36,0 MW/MTIHM zu Grunde gelegt. Die bestrahlten BE werden im Modell drei Jahre nach Entladen aus dem Reaktor wiederaufgearbeitet, ein weiteres Jahr später verglast. Die pro Glaskokille verarbeitete Masse Schwermetall wurde aus der aktuell bekannten Beladung der Kokillen mit dem Spaltprodukt Nd ermittelt. Anteile der Zircaloy-Hüllrohre und übrigen BE-Strukturteile, welche beim Zerschneiden der BE mit dem hochaktiven Abfall verbleiben, wurden berücksichtigt, ebenso die im Zircaloy adsorbierten bzw. gelösten Mengen von Tritium und Kr-85. Schliesslich wurden auch die in der COGEMA-Spezifikation vom Juli 1986 für das hochaktive Glas genannten (zusätzlichen) Mengen von Am-241, Am-243, Cm-244 und Cm-245 berücksichtigt.

Die über einen Zeitraum von 19 Jahren anfallende Menge von 3425 Kokillen wurde über den Zeitraum von 1990 bis 2009 jahrweise zwiebelschalenförmig akkumuliert, dann auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030 bezogen und der Zerfall über 11 Zeithorizonte bis 1 Million Jahre berechnet. Die dabei wiederaufgearbeitete Masse Schwermetall beträgt 5708 MTIHM. Die Bestrahlungs- und Zerfallsrechnungen wurden mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 vorgenommen.

Beschreibung	MTIHM gesamt	Anzahl Gebinde	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
COGEMA HAW Glas	5708	3425	3,41E+19	1,70E+19	1,07E+19	3,50E+18	2,18E+17

Beschreibung	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
COGEMA HAW Glas	6,79E+16	1,45E+16	8,79E+15	5,22E+15	3,60E+15	2,63E+15	1,49E+15

Akkumulation			
Beschreibung	Anzahl Jahre	von - bis	Gebinde/Jahr
COGEMA HAW Glas	19	1990 - 2008	180,2632

Tabelle 6: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] des akkumulierten, bei COGEMA zu HAW Glas wiederaufgearbeiteten Brennstoffinventars, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)

D.2.2 Modellierung der mittelaktiven Abfälle von COGEMA und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars

Zwei mittelaktive Abfallsorten werden von COGEMA hergestellt: die kompaktierten Hülsen und Endstücke sowie die bituminierten Fällungen und Konzentrate.

Die Modellierung der Abfallsorte "kompaktierte Hülsen und Endstücke" (H+E) geschieht analog zur Modellierung des HAW Glases. Als Grundlage dient ein DWR-BE mit 3,7 Gewichts-% Anreicherung U-235, einer Leistung von 36,0 MW/MTIHM und einem Abbrand von (konservativ) 45.000 MWD/MTIHM. Für die Strukturteile wurde eine Mischung von DWR- und SWR-BE im Verhältnis von 55,4 % DWR zu 44,6 % SWR unterstellt. Die DWR- und SWR-Strukturteile wurden getrennt und gemäss der jeweiligen axialen Neutronenflussverteilung bestrahlt. Drei Jahre nach der Bestrahlung werden die Hülsen und Endstücke vom Brennstoff getrennt. Das im Zircaloy gelöste Tritium, die an den Hüllrohren haftenden Brennstoffreste sowie die sicherheitsrelevanten Nuklide C-14, Kr-85 und I-129 wurden speziell berücksichtigt, das Modell entspricht der bestmöglichen Schätzung nach heutigem Kenntnisstand. Insgesamt wurden BE entsprechend einer Brennstoffmasse von 5708 MTIHM verarbeitet und in insgesamt 4717 Gebinden, verteilt über 19 Jahre (1994 bis 2012) real akkumuliert. Das akkumulierte Inventar zerfiel bis zum Referenzzeitpunkt 01.01.2030, anschliessend wurden die üblichen 11 Zeithorizonte bis 1 Million Jahre gerechnet. Die Bestrahlungs- und Zerfallsrechnungen wurden mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 vorgenommen.

Beschreibung	MTIHM gesamt	Anzahl Gebinde	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
COGEMA Hülsen und Endstücke	5708	4717	2,38E+17	1,53E+17	1,26E+17	8,37E+16	2,10E+16

Beschreibung	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
COGEMA Hülsen und Endstücke	2,50E+15	2,14E+15	1,86E+15	1,43E+15	7,47E+14	1,92E+14	6,49E+13

Akkumulation			
Beschreibung	Anzahl Jahre	von - bis	Gebinde/Jahr
COGEMA Hülsen und Endstücke	19	1990 - 2008	248,2632

Tabelle 7: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der akkumulierten, bei COGEMA wiederaufgearbeiteten Hülsen und Endstücke, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)

Für die Modellierung der Abfallsorte "bituminierte Fällungen und Konzentrate" wird wie beim HAW Glas ein DWR-Brennelement mit 3,5 Gewichts-% Anreicherung U-235, einer Leistung von 36,0 MW/MTIHM und einem Abbrand von 33.000 MWD/MTIHM zu Grunde gelegt. Die modellmässige Wiederaufarbeitung geschieht nach einer Abkühlzeit von 10 Jahren. Das Inventar der in der Abfallsorte vorhandenen Nuklide wurde mit der bestmöglichen Schätzung nach dem heutigen Kenntnisstand modelliert. Insgesamt wurden bituminierte Fällungen und Konzentrate aus der Wiederaufarbeitung von 4581 MTIHM BE produziert, welche in 4581 Gebinden, verteilt über 14 Jahre (1989 bis 2002), anfallen und deren Inventar real akkumuliert wurde und bis zum Referenzzeitpunkt 01.01.2030 zerfiel. Anschliessend wurden die üblichen 11 Zeithorizonte bis 1 Million Jahre gerechnet. Die Bestrahlungs- und Zerfallsrechnungen wurden mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 vorgenommen.

Beschreibung	MTIHM gesamt	Anzahl Gebinde	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
COGEMA Bituminierte Fällungen und Konzentrate	4581	4581	5,61E+15	2,52E+15	1,60E+15	6,68E+14	2,15E+14

Beschreibung	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
COGEMA Bituminierte Fällungen und Konzentrate	1,14E+14	6,89E+13	4,81E+13	2,86E+13	1,95E+13	1,74E+13	1,17E+13

Akkumulation			
Beschreibung	Anzahl Jahre	von - bis	Gebinde/Jahr
COGEMA Bituminierte Fällungen und Konzentrate	14	1989 - 2002	327,2143

Tabelle 8: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der akkumulierten bituminierten Fällungen und Konzentrate, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)

D.2.3 Modellierung der hochaktiven Abfälle von BNFL und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars

Die Modellierung der Wiederaufarbeitung bei BNFL und des dabei entstehenden "Blended Glass" ist viel komplexer als der Fall des COGEMA HAW Glases. Bei BNFL wird die nach der mechanischen Zerkleinerung und der chemischen Auflösung der Brennelemente entstandene hochaktive Lösung mit derjenigen anderer Brennelementarten gemischt. Das daraus entstehende hochaktive Glas besteht somit aus einer Mischung von wiederaufgearbeiteten MAGNOX-BE, AGR-BE, SWR-BE und DWR-BE. Bei der Modellierung werden die Eigenschaften dieser vier BE-Typen, wie Zusammensetzung, Anreicherung, Abbrand, Leistungsdichte, Strukturteile, Abkühlzeit vor Wiederaufarbeitung, einzeln berücksichtigt und gemäss dem von BNFL vorliegenden Verteilschlüssel gemischt. Insgesamt wurden DWR- und SWR-BE entsprechend einer Schwermetallmasse von 1060 MTIHM wiederaufgearbeitet und in Blended Glass übergeführt. Die so entstandenen 879 Kokillen Blended Glass wurden anschliessend über 14 Jahre verteilt (1994 bis 2007) und zwiebelschalenartig akkumuliert. Ausgehend vom Referenzzeitpunkt 01.01.2030 wurden die üblichen 11 Zeithorizonte bis 1 Million Jahre gerechnet. Die Bestrahlungs- und Zerfallsrechnungen wurden mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 vorgenommen.

Beschreibung	MTIHM gesamt	Anzahl Gebinde	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
BNFL Blended Glass	1060	879	8,84E+18	4,39E+18	2,77E+18	8,91E+17	4,04E+16

Beschreibung	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
BNFL Blended Glass	1,13E+16	2,38E+15	1,63E+15	1,22E+15	9,45E+14	6,81E+14	3,65E+14

Akkumulation			
Beschreibung	Anzahl Jahre	von - bis	Gebinde/Jahr
BNFL Blended Glass	14	1994 - 2007	62,7857

Tabelle 9: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der akkumulierten BNFL Blended Glass Gebinde, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebel-schalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)

D.2.4 Modellierung der mittel- und schwachaktiven Abfälle von BNFL und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars

Drei mittel- und eine schwachaktive Abfallsorte werden von BNFL geliefert. Mittelaktiv sind die zementierten Hulls and Ends (Hülsen und Endstücke, H+E), die zementierten MEB- und BaCO₃-Schlämme und der zementierte Feedklärschlamm (FKS). Schwachaktiv ist der zementierte schwachaktive technologische Abfall (SLLR).

Grundlage für die Modellierung der Hülsen und Endstücke ist ein DWR-BE mit einer Anreicherung von 3,35 Gewichts-% U-235, einer Leistungsdichte von 27,05 MW/MTIHM und einem Abbrand von 33.000 MWD/MTIHM. Die Strukturteile von DWR und SWR BE wurden jeweils getrennt und gemäss ihrer jeweiligen axialen Neutronenflussverteilung bestrahlt und anschliessend im Verhältnis von 78% DWR zu 22% SWR gemischt. Die Wiederaufarbeitung wurde nach einer Abkühlzeit von 10 Jahren vorgenommen. Das Modell entspricht der bestmöglichen Schätzung nach dem heutigen Kenntnisstand. Insgesamt wurden BE entsprechend einer äquivalenten Schwermetallmasse von 1786 MTIHM wiederaufgearbeitet und in insgesamt 1433 Gebinden verteilt über 18 Jahre (2000 – 2017) real zwiebel-schalenartig akkumuliert. Ausgehend vom Referenzzeitpunkt 01.01.2030 wurden die üblichen 11 Zeithorizonte bis 1 Million Jahre gerechnet. Die Bestrahlungs- und Zerfallsrechnungen wurden mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 vorgenommen.

Beschreibung	MTIHM gesamt	Anzahl Gebinde	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
BNFL Hulls and Ends	1786	1433	9,18E+16	5,17E+16	4,02E+16	2,49E+16	5,92E+15

Beschreibung	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
BNFL Hulls and Ends	6,72E+14	5,87E+14	5,21E+14	4,06E+14	2,10E+14	4,97E+13	1,49E+13

Akkumulation			
Beschreibung	Anzahl Jahre	von - bis	Gebinde/Jahr
BNFL Hulls and Ends	18	2000 - 2017	79,6111

Tabelle 10: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der akkumulierten, bei BNFL wiederaufgearbeiteten Hülsen und Endstücke, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)

Die zementierten MEB- und BaCO₃-Schlämme enthalten das abgetrennte C-14, einen Grossteil des I-129 (rund 31%), sowie Brennstoffreste aus der Wiederaufarbeitung von BE sowie den "crud" aus der Reinigung der MEB-Transportbehälter. Grundlage für die Modellierung der MEB- und BaCO₃-Schlämme ist ein DWR-BE mit einer Anreicherung von 3,35 Gewichts-% U-235, einer Leistungsdichte von 27,05 MW/MTIHM und einem Abbrand von 33.000 MWD/MTIHM. Die Wiederaufarbeitung findet nach einer Kühlzeit von 10 Jahren statt. Das Modell entspricht der bestmöglichen Schätzung nach dem heutigen Kenntnisstand. Insgesamt wurden BE entsprechend einer äquivalenten Schwermetallmasse von 1786 MTIHM verarbeitet und in insgesamt 161 Gebinden verteilt über 18 Jahre (2000 – 2017) real zwiebelschalenartig akkumuliert. Ausgehend vom Referenzzeitpunkt 01.01.2030 wurden die üblichen 11 Zeithorizonte bis 1 Million Jahre gerechnet. Die Bestrahlungs- und Zerfallsrechnungen wurden mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 vorgenommen.

Beschreibung	MTIHM gesamt	Anzahl Gebinde	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
BNFL MEB- und BaCO ₃ -Schlämme	1786	161	2,18E+13	2,03E+13	1,96E+13	1,83E+13	1,59E+13

Beschreibung	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
BNFL MEB- und BaCO ₃ -Schlämme	1,41E+13	1,10E+13	4,80E+12	5,18E+11	7,97E+10	6,09E+10	5,56E+10

Akkumulation			
Beschreibung	Anzahl Jahre	von - bis	Gebinde/Jahr
BNFL MEB- und BaCO ₃ -Schlämme	18	2000 - 2017	8,9444

Tabelle 11: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der akkumulierten BNFL MEB- und BaCO₃-Schlämme zementiert, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)

Die Feedklärschlämme zementiert (FKS) enthalten unlösliche Spaltprodukte wie Ru, Rh, Zr, Mo, etwas bestrahlten Brennstoff in Lösung inkl. ungelöstem Pu sowie Zircaloy-Späne aus der mechanischen Zerkleinerung der Brennelemente. Grundlage für die Modellierung der Feedklärschlämme ist ein DWR-BE mit einer Anreicherung von 3,35 Gewichts-% U-235, einer Leistungsdichte von 27,05 MW/MTIHM und einem Abbrand von 33.000 MWD/MTIHM. Die Wiederaufarbeitung findet nach einer Kühlzeit von 10 Jahren statt. Das Modell entspricht der bestmöglichen Schätzung nach dem heutigen Kenntnisstand. Insgesamt wurden BE entsprechend einer äquivalenten Schwermetallmasse von 1786 MTIHM verarbeitet und in insgesamt 382 Gebinden verteilt über 18 Jahre (2000 – 2017) real zwiebelschalenartig akkumuliert. Ausgehend vom Referenzzeitpunkt 01.01.2030 wurden die üblichen 11

Zeithorizonte bis 1 Million Jahre gerechnet. Die Bestrahlungs- und Zerfallsrechnungen wurden mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 vorgenommen.

Beschreibung	MTIHM gesamt	Anzahl Gebinde	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
BNFL Feedklär- schlämme (FKS)	1786	382	3,43E+15	1,66E+15	1,13E+15	5,84E+14	3,29E+14

Beschreibung	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
BNFL Feedklär- schlämme (FKS)	2,80E+14	2,58E+14	2,43E+14	2,20E+14	1,73E+14	9,07E+13	1,09E+13

Akkumulation			
Beschreibung	Anzahl Jahre	von - bis	Gebinde/Jahr
BNFL Feedklär- schlämme (FKS)	18	2000 - 2017	21,2222

Tabelle 12: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der akkumulierten BNFL MEB- und BaCO₃-Schlämme zementiert, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)

Für das Nuklidinventar des schwachaktiven technologischen Abfalls (Solid Low Level Residues, SLLR) wurde keine Abbrandrechnung durchgeführt, sondern direkt das Inventar gemäss den verfügbaren Unterlagen übernommen und akkumuliert. Insgesamt entstanden 194 Gebinde SLLR, entsprechend der Wiederaufarbeitung von 1060 MTIHM, welche über einen Zeitraum von 10 Jahren (2013 bis 2022) akkumuliert wurden. Ausgehend vom Referenzzeitpunkt 01.01.2030 wurden die üblichen 11 Zeithorizonte bis 1 Million Jahre gerechnet. Die Zerfallsrechnungen wurden mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 vorgenommen.

Beschreibung	MTIHM gesamt	Anzahl Gebinde	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
BNFL Solid Low Level Residues (SLLR)	1060	194	1,28E+11	4,48E+10	2,60E+10	1,14E+10	5,32E+09

Beschreibung	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
BNFL Solid Low Level Residues (SLLR)	2,29E+09	9,30E+08	6,67E+08	5,21E+08	6,13E+08	6,67E+08	4,01E+08

Beschreibung	Anzahl Jahre	Akkumulation	
		von - bis	Gebinde/Jahr
BNFL Solid Low Level Residues (SLLR)	10	2013 - 2022	19,4

Tabelle 13: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] des akkumulierten BNFL schwachaktiven technologischen Abfalls (SLLR) zementiert, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)

D.2.5 Modellierung der hochaktiven Abfälle der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars

Die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) hat im Zeitraum 1971 bis 1990 Brennelemente aus Leistungsreaktoren, Versuchs- und Prototypreaktoren verarbeitet und daraus hochaktive Glaskokillen hergestellt, deren Nuklidinventar und Aktivität hier modelliert wurden.

Die von der WAK durchgeführten Wiederaufarbeitungskampagnen sind in [7] mit den verarbeiteten Mengen Uran und Plutonium sowie den mittleren Abbränden dokumentiert. Das Aktivitätsinventar der wichtigsten Nuklide pro Gebinde ist in [8] festgehalten, ebenso die Massen der meisten Spaltproduktelemente. Um auch das Inventar der sicherheitsrelevanten Nuklide C-14 und Se-79 bestimmen zu können, wurde eine Abbrandrechnung basierend auf einem Standard DWR-BE durchgeführt und dabei die Anreicherung und der Abbrand so variiert, dass die wichtigsten Eckdaten wie die Massen von Plutonium, der Spaltprodukte und der Aktiniden möglichst korrekt wiedergegeben wurden. Im Modell geschah die Wiederaufarbeitung nach einer Kühlzeit von 10 Jahren, anschliessend vergingen 10 weitere Jahre bis zum Referenzzeitpunkt 01.01.2003, für welchen die WAK-Unterlagen das Gesamtinventar enthalten. Diese Werte konnten aus dem Vergleich der Aktivitäten von kurzlebigen Isotopen (Ru-106/Rh-106) mit den Leitnukliden Sr-90/Y-90 und Cs-137/Ba-137m bestätigt werden. Unter Berücksichtigung des Umstandes, dass nicht nur Leichtwasser-BE, sondern auch solche von Versuchs- und Prototypreaktoren wiederaufgearbeitet worden sind, konnte das modellierte Nuklidinventar die in [8] spezifizierten Daten recht genau wiedergeben, so dass auch die Werte für die in [8] nicht enthaltenen sicherheitsrelevanten Nuklide wie C-14 und Se-79 belastbar sind.

Insgesamt wurden BE entsprechend einer Schwermetallmasse von 212,2 MTIHM verarbeitet und in insgesamt 127 HAW-Kokillen rechnerisch zum Zeitpunkt 01.01.2003 bereitgestellt. Nach einem Zerfall bis zum Referenzzeitpunkt 01.01.2030 wurden die üblichen 11 Zeithorizonte bis 1 Million Jahre gerechnet. Die Bestrahlungs- und Zerfallsrechnungen wurden mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 vorgenommen.

Beschreibung	MTIHM gesamt	Anzahl Gebinde	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
WAK-VEK HAW-Glas	212,2	127	4,08E+17	2,04E+17	1,29E+17	4,25E+16	2,89E+15

Beschreibung	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
WAK-VEK HAW-Glas	8,72E+14	1,76E+14	1,18E+14	8,63E+13	6,40E+13	4,57E+13	2,40E+13

Akkumulation			
Beschreibung	Anzahl Jahre	von - bis	Gebinde/Jahr
WAK-VEK HAW-Glas	1	2003	127

Tabelle 14: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der WAK-VEK HAW-Glaskokillen, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)

D.2.6 Modellierung der mittelaktiven Abfälle aus UKAEA Dounreay und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars

In Dounreay wurden insgesamt 464 BE aus Materialtestreaktoren von fünf verschiedenen Forschungseinrichtungen (PTB Braunschweig, KFA Jülich, TU München, Hahn-Meitner Institut Berlin, GKSS Geesthacht) wiederaufgearbeitet. 376 BE (entsprechend einer unbestrahlten Uranmasse von rund 74,8 kg) waren hochangereichert (Anreicherung zwischen 80 und 93 Gewichts-% U-235), die restlichen 88 BE niedrigangereichert (unbestrahlte Uranmasse rund 30,6 kg, Anreicherung 20 bzw. 44,4 Gewichts-% U-235).

Für drei Forschungseinrichtungen (PTB, KFA, GKSS) sind Angaben über die nach Dounreay gelieferten BE (Uranmasse unbestrahlt, Masse U-235 unbestrahlt, Abbrand in MWd, Entladezeitpunkt) verfügbar. Für die Brennelemente der beiden anderen Forschungseinrichtungen (HMI, TUM) wurden diese Grössen bestmöglich geschätzt.

Gemäss verfügbaren Unterlagen wurden Abbrandrechnungen für die verschiedenen BE mit dem SCALE 4.4a Programmsystem [1] vorgenommen. Anschliessend wurden die Nuklidinventare am Ende der Bestrahlung in das Rechenprogramm Origen 2.1 übernommen und weiter verarbeitet.

Der radioaktive Zerfall der verschiedenen BE wurde gruppenweise von ihrem Entladezeitpunkt bis zum Referenzzeitpunkt 01.01.2030 berücksichtigt. Anschliessend wurden die üblichen 11 Zeithorizonte bis 1 Million Jahre gerechnet. Die Zerfallsrechnungen wurden mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 vorgenommen.

Die 134 Abfallgebände, welche diese Abfälle enthalten, werden im Jahre 2006 bereitgestellt.

Beschreibung	MTIHM gesamt	Anzahl Gebinde	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
UKAEA ILR zementiert	0,206	134	6,30E+15	3,11E+15	1,94E+15	6,07E+14	1,06E+13

Beschreibung	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
UKAEA ILR zementiert	3,17E+12	2,56E+12	2,11E+12	1,63E+12	1,40E+12	1,13E+12	3,09E+11

Akkumulation			
Beschreibung	Anzahl Jahre	von - bis	Gebinde/Jahr
UKAEA ILR zementiert	1	31.12.06	134

Tabelle 15: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der UKAEA ILR zementierten Abfälle, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)

D.2.7 Modellierung des Kernbrennstoffinventars aus dem Forschungsreaktor Rossendorf und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars

Vom Forschungsreaktor Rossendorf (RFR) sind zur Zeit noch Brennelemente mit Anfangsanreicherungen von 10 bzw. 36 Gewichts-% U-235 und einer gesamten Uranmasse von rund 382 kg IHM vorhanden, welche in 18 Castor-Behältern zwischengelagert sind. Für die zwei eingesetzten BE-Typen liegen Massen und spezifische Aktivitäten [Bq/g Uran] für 37 Nuklide vor, allerdings für den Referenzzeitpunkt Jahr 2038. Im Nuklidinventar finden sich neben Aktiniden und den prominenten Spaltprodukten (Sr-90/Y-90, Cs-135, Cs-137/Ba-137m) auch die sicherheitsrelevanten Nuklide H-3, C-14, Se-79, I-129. Aus diesem Grunde wurde keine Abbrandrechnung durchgeführt (deren Durchführung nähere Kenntnisse des Brennelementaufbaus bedingt), sondern es wurden die vorliegenden Nuklidinventare direkt vom Jahr 2038 auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030 retropoliert.

Anschliessend wurden die üblichen 11 Zeithorizonte bis 1 Million Jahre gerechnet. Die Zerfallsrechnungen wurden mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 vorgenommen. Auf diese Weise konnte die zeitliche Entwicklung eines Grossteils der Aktiniden und der spezifizierten Spaltprodukte korrekt modelliert werden, quantitative Angaben über das gesamte Spaltproduktinventar sind jedoch nicht verfügbar. Die Aktivitätsinventare der beiden anderen Reaktoren des Standortes Rossendorf, nämlich der Rossendorfer Anordnung für kritische Experimente (RAKE) und des Rossendorfer Ringzonenreaktors (RRR), wurden auf analoge Weise bestimmt. In der nachstehenden Tabelle ist auch die Anzahl der für die Endlagerung erwarteten Pollux-Behälter von Rossendorf aufgeführt.

Beschreibung	MTIHM gesamt	Anzahl Gebinde	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
Rossendorf RFR, RAKE, RRR	2,104	11	9,37E+15	9,01E+15	5,69E+15	1,85E+15	7,44E+13

Beschreibung	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
Rossendorf RFR, RAKE, RRR	2,12E+13	1,23E+13	9,11E+12	5,82E+12	3,72E+12	2,86E+12	1,38E+12

Akkumulation				
Beschreibung	Anzahl Jahre	von - bis	Gebinde/Jahr	
	0	1	01.01.2030	11

Tabelle 16: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM], Anzahl Gebinde und Aktivität [Bq] der BE der drei Reaktoren des Standortes Rossendorf, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr)

D.2.8 Modellierung des Kernbrennstoffinventars aus den Siemens Unterrichtsreaktoren (SUR) und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars

11 Siemens Unterrichtsreaktoren (SUR 100) wurden in den Jahren 1962 bis 1973 gebaut und in Betrieb genommen. Davon sind 7 weiterhin in Betrieb, die übrigen 4 sind stillgelegt und abgebaut (Stand Mai 2003). Die Leistung eines SUR 100 beträgt 100 mW, bei einzelnen waren kurzzeitig 800 mW Leistung zulässig. Das Brennstoffinventar beträgt 3,51 kg U (als U₃O₈) mit einer Anreicherung von 20 Gew-% U-235.

Bei der Modellierung des Aktivitätsinventars wurden sehr konservative Annahmen getroffen: es wird unterstellt, dass alle Reaktoren eine unterbruchsfreie Betriebszeit von 65 Jahren (von Ende 1963 bis Ende 2028) aufweisen und anschliessend der bestrahlte Brennstoff ein Jahr Kühlzeit bis zum Referenzzeitpunkt 01.01.2030 erhält. Dadurch können alle denkbaren Stilllegungsszenarien der noch im Betrieb befindlichen SUR 100 Reaktoren abgedeckt werden. Die sehr niedrige Leistung der Reaktoren führt auch bei dieser langen Bestrahlungszeit nur zu einem geringen Abbrand und somit einem kleinen Aktivitätsinventar. Vom Referenzzeitpunkt 01.01.2030 wurden die üblichen 11 Zeithorizonte bis 1 Million Jahre gerechnet. Die Zerfallsrechnungen wurden mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 vorgenommen.

Beschreibung	MTIHM gesamt	mittlerer Abbrand [MWD/ MTIHM]	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
Siemens Unterrichts- Reaktoren	0,03861	678	2,74E+10	2,16E+10	2,04E+10	1,91E+10	1,85E+10

Beschreibung	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
Siemens Unterrichts- Reaktoren	1,89E+10	2,08E+10	2,99E+10	5,37E+10	9,94E+10	1,00E+11	2,65E+10

Tabelle 17: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] der Siemens Unterrichtsreaktoren SUR 100, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030.

D.2.9 Modellierung der Brennstäbe des NS Otto Hahn und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars

Der überwiegende Teil des BE-Inventars des NS Otto Hahn wurde in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) wiederaufgearbeitet und ist somit in jenem Abschnitt (D.2.5 Modellierung der hochaktiven Abfälle der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars) erfasst. Zu Testzwecken wurden jedoch 52 einzelne Brennstäbe in Geesthacht zurückbehalten, deren Aktivitätsinventar gemäss den vorliegenden Uranmassen, Anreicherung von U-235, Abbrand pro Brennstab und Entladezeitpunkt modelliert wurde. Diese Brennstäbe mit einer Gesamtmasse Uran (unbestrahlt) von rund 32,7 kg sind der direkten Endlagerung zuzuführen. Der Aktivitätszerfall vom Entladezeitpunkt bis zum Referenzzeitpunkt 01.01.2030 wurde berücksichtigt.

Vom Referenzzeitpunkt 01.01.2030 wurden die üblichen 11 Zeithorizonte bis 1 Million Jahre gerechnet. Die Zerfallsrechnungen wurden mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 vorgenommen.

Beschreibung	MTIHM gesamt	Anzahl Brennstäbe	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]
NS Otto Hahn Brennstäbe	0,033	52	7,05E+13	3,50E+13	2,25E+13	8,19E+12	1,46E+12

Beschreibung	1.000 a [Bq]	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
NS Otto Hahn Brennstäbe	7,68E+11	4,63E+11	3,17E+11	1,53E+11	4,15E+10	2,34E+10	1,31E+10

Akkumulation			
Beschreibung	Anzahl Jahre	von - bis	Gebinde/Jahr
NS Otto Hahn Brennstäbe	1	30.06.79	52

Tabelle 18: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] der 52 in Geesthacht gelagerten Brennstäbe des NS Otto Hahn, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030.

D.2.10 Modellierung des Kernbrennstoffinventars aus den zur direkten Endlagerung vorgesehenen Forschungsreaktoren und reale Akkumulation des Aktivitätsinventars

Verschiedene Forschungsreaktoren können noch bis zum 30.05.2006 ihre abgebrannten BE zur Entsorgung in die USA schicken. Nach diesem Zeitpunkt bis zum Jahr 2010 werden für die 4 noch in Betrieb stehenden Materialtestreaktoren in Berlin, Geesthacht und München (evtl. auch noch Jülich) sowie der Trainings- und Isotopenproduktionsreaktor (TRIGA) in Mainz die BE direkt endgelagert werden. Gemäss [9] werden aus den beiden Reaktoren BER-II (Berlin) und FRG-1 (Geesthacht) insgesamt 115 BE mit 185 kg Uran (unbestrahlt) und einer Anreicherung von 20 Gewichtsprozent U-235 erwartet, aus dem Reaktor FRM-II (München) 46 BE mit 368,5 kg Uran (unbestrahlt) und einer Anreicherung von 93 % U-235, sowie aus dem Reaktor TRIGA-MZ 90 BE mit 16,2 kg Uran (unbestrahlt) und einer Anreicherung von 19,75 % U-235. Total handelt es sich somit um 251 BE mit 569,7 kg Uran.

Die zu erwartenden Abbrandwerte wurden in Anlehnung an das in Abschnitt D.2.6 gewählte Vorgehen geschätzt. Es wurden Abbrandrechnungen für die verschiedenen BE mit dem SCALE 4.4a Programmsystem [1] vorgenommen. Anschliessend wurden die Nuklidinventare am Ende der Bestrahlung in das Rechenprogramm Origen 2.1 [2] übernommen und weiter verarbeitet.

Vom Referenzzeitpunkt 01.01.2030 wurden die üblichen 11 Zeithorizonte bis 1 Million Jahre gerechnet. Die Zerfallsrechnungen wurden mit dem Rechenprogramm Origen 2.1 vorgenommen.

Forschungsreaktor	Masse Brennstoff [MTIHM]	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]	1.000 a [Bq]
BER-2	0,1125	2,03E+15	9,95E+14	6,23E+14	1,95E+14	4,61E+12	1,88E+12
FRG-1	0,0725	1,31E+15	6,41E+14	4,01E+14	1,26E+14	2,97E+12	1,21E+12
FRM-2	0,3685	1,42E+16	6,95E+15	4,35E+15	1,35E+15	1,72E+13	1,46E+12
TRIGA-MZ	0,0162	2,91E+14	1,43E+14	8,93E+13	2,80E+13	6,66E+11	2,75E+11
Summe	0,5697	1,79E+16	8,73E+15	5,46E+15	1,70E+15	2,55E+13	4,83E+12

Forschungsreaktor	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
BER-2	1,44E+12	1,07E+12	5,94E+11	2,09E+11	1,10E+11	5,97E+10
FRG-1	9,28E+11	6,88E+11	3,83E+11	1,35E+11	7,10E+10	3,85E+10
FRM-2	1,41E+12	1,35E+12	1,24E+12	1,05E+12	7,49E+11	4,23E+11
TRIGA-MZ	2,10E+11	1,56E+11	8,74E+10	3,18E+10	1,75E+10	9,79E+09
Summe	3,99E+12	3,26E+12	2,30E+12	1,43E+12	9,48E+11	5,31E+11

Akkumulation			
Beschreibung	Anzahl Jahre	von - bis	Gebinde/Jahr
FR-Entsorgung bis 2010	1	30.06.2010	6

Tabelle 19: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] der direkt zu entsorgenden BE der vier bis zum Jahr 2010 weiter in Betrieb stehenden Forschungsreaktoren, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030, sowie die für die zwiebelschalenartige Akkumulation verwendeten Parameter (Anzahl Jahre und Zeitraum der Akkumulation, Anzahl Gebinde pro Jahr).

D.3 Modellierung des gesamten Aktivitätsinventars an BE + W vs. Zeit, reale Akkumulation und MTIHM

Die folgende Tabelle fasst die in den vorhergehenden Kapiteln aufgeführten Inventare an BE, welche der direkten Endlagerung zugeführt werden, zusammen. Bei DWR und SWR werden die jeweiligen Inventare anteilmässig, entsprechend dem Massenanteil Schwermetall, welcher der direkten Endlagerung zugeführt wird, aufgeteilt, wobei bei SWR berücksichtigt wird, dass die BE von KGA und KWL vollständig wiederaufgearbeitet wurden.

Reaktoren	Masse Brennstoff [MTIHM]zur Endlagerung direkt	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]	1.000 a [Bq]
DWR	7102,990	7,82E+19	3,54E+19	2,22E+19	7,92E+18	1,30E+18	4,94E+17
SWR	3323,457	3,15E+19	1,44E+19	9,04E+18	3,30E+18	5,81E+17	2,16E+17
KGR, KKR	583,800	3,95E+18	1,89E+18	1,21E+18	4,57E+17	9,44E+16	3,74E+16
AVR, THTR	9,053	9,56E+16	4,72E+16	2,97E+16	9,58E+15	4,34E+14	1,96E+14
Rosendorf RFR, RAKE, RRR	2,104	9,37E+15	9,01E+15	5,69E+15	1,85E+15	7,44E+13	2,12E+13
Siemens Unterrichtsreaktoren	0,039	2,74E+10	2,16E+10	2,04E+10	1,91E+10	1,85E+10	1,89E+10
NS Otto Hahn	0,033	7,05E+13	3,50E+13	2,25E+13	8,19E+12	1,46E+12	7,68E+11
FR-Entsorgung bis 2010	0,570	1,79E+16	8,73E+15	5,46E+15	1,70E+15	2,55E+13	4,83E+12
Direkte Endlagerung	11022,045	1,14E+20	5,18E+19	3,25E+19	1,17E+19	1,98E+18	7,48E+17

Reaktoren	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
DWR	1,82E+17	1,13E+17	5,12E+16	1,74E+16	1,16E+16	6,61E+15
SWR	7,94E+16	4,99E+16	2,33E+16	7,92E+15	4,99E+15	2,84E+15
KGR, KKR	1,41E+16	8,81E+15	4,02E+15	1,29E+15	8,40E+14	4,92E+14
AVR, THTR	1,97E+14	3,10E+14	3,91E+14	3,09E+14	1,39E+14	1,18E+13
Rosendorf RFR, RAKE, RRR	1,23E+13	9,11E+12	5,82E+12	3,72E+12	2,86E+12	1,38E+12
Siemens Unterrichtsreaktoren	2,08E+10	2,99E+10	5,37E+10	9,94E+10	1,00E+11	2,65E+10
NS Otto Hahn	4,63E+11	3,17E+11	1,53E+11	4,15E+10	2,34E+10	1,31E+10
FR-Entsorgung bis 2010	3,99E+12	3,26E+12	2,30E+12	1,43E+12	9,48E+11	5,31E+11
Direkte Endlagerung	2,76E+17	1,72E+17	7,89E+16	2,69E+16	1,76E+16	9,96E+15

Tabelle 20: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] der BE, welche der direkten Endlagerung zugeführt werden, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030.

Die folgende Tabelle fasst die in den vorhergehenden Kapiteln aufgeführten Inventare, welche aus der Wiederaufarbeitung stammen, zusammen. Bei COGEMA HAW Glas und BNFL Blended Glass werden die vertraglich kontrahierten Mengen Schwermetall aufgeführt, welche wiederaufgearbeitet werden können.

Kategorie	Masse Brennstoff [MTIHM] zur Wiederauf- arbeitung	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]	1.000 a [Bq]
COGEMA HAW Glas	5708,000	3,41E+19	1,70E+19	1,07E+19	3,50E+18	2,18E+17	6,79E+16
BNFL Blended Glass	1060,000	8,84E+18	4,39E+18	2,77E+18	8,91E+17	4,04E+16	1,13E+16
COGEMA Hülsen und Endstücke		2,38E+17	1,53E+17	1,26E+17	8,37E+16	2,10E+16	2,50E+15
COGEMA Bituminierte Fällungen und Konzentrate		5,61E+15	2,52E+15	1,60E+15	6,68E+14	2,15E+14	1,14E+14
BNFL Hulls and Ends		9,18E+16	5,17E+16	4,02E+16	2,49E+16	5,92E+15	6,72E+14
BNFL MEB- und BaCO ₃ -Schlämme		2,18E+13	2,03E+13	1,96E+13	1,83E+13	1,59E+13	1,41E+13
BNFL Feedklärschlämme		3,43E+15	1,66E+15	1,13E+15	5,84E+14	3,29E+14	2,80E+14
BNFL Solid Low Level Residues		1,28E+11	4,48E+10	2,60E+10	1,14E+10	5,32E+09	2,29E+09
WAK	212,200	4,08E+17	2,04E+17	1,29E+17	4,25E+16	2,89E+15	8,72E+14
UKAEA ILR zementiert (Dounreay)	0,206	6,30E+15	3,11E+15	1,94E+15	6,07E+14	1,06E+13	3,17E+12
Wiederaufarbeitung	6980,406	4,37E+19	2,18E+19	1,38E+19	4,54E+18	2,88E+17	8,37E+16

Kategorie	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
COGEMA HAW Glas	1,45E+16	8,79E+15	5,22E+15	3,60E+15	2,63E+15	1,49E+15
BNFL Blended Glass	2,38E+15	1,63E+15	1,22E+15	9,45E+14	6,81E+14	3,65E+14
COGEMA Hülsen und Endstücke	2,14E+15	1,86E+15	1,43E+15	7,47E+14	1,92E+14	6,49E+13
COGEMA Bituminierte Fällungen und Konzentrate	6,89E+13	4,81E+13	2,86E+13	1,95E+13	1,74E+13	1,17E+13
BNFL Hulls and Ends	5,87E+14	5,21E+14	4,06E+14	2,10E+14	4,97E+13	1,49E+13
BNFL MEB- und BaCO ₃ -Schlämme	1,10E+13	4,80E+12	5,18E+11	7,97E+10	6,09E+10	5,56E+10
BNFL Feedklärschlämme	2,58E+14	2,43E+14	2,20E+14	1,73E+14	9,07E+13	1,09E+13
BNFL Solid Low Level Residues	9,30E+08	6,67E+08	5,21E+08	6,13E+08	6,67E+08	4,01E+08
WAK	1,76E+14	1,18E+14	8,63E+13	6,40E+13	4,57E+13	2,40E+13
UKAEA ILR zementiert (Dounreay)	2,56E+12	2,11E+12	1,63E+12	1,40E+12	1,13E+12	3,09E+11
Wiederaufarbeitung	2,01E+16	1,32E+16	8,61E+15	5,76E+15	3,71E+15	1,98E+15

Tabelle 21: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] der aus der Wiederaufarbeitung zurückkommenden Abfälle, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030.

Die folgende Tabelle summiert die beiden vorhergehenden Tabellen und gibt somit das gesamte Aktivitätsinventar von Brennelementen (BE) und Wiederaufarbeitungsabfällen (W) aus der kommerziellen Nutzung der Kernenergie an, welches der Endlagerung zugeführt wird.

Kategorie	Masse Brennstoff [MTIHM]	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]	1.000 a [Bq]
Direkte Endlagerung	11022,045	1,14E+20	5,18E+19	3,25E+19	1,17E+19	1,98E+18	7,48E+17
Wiederaufarbeitung	6980,406	4,37E+19	2,18E+19	1,38E+19	4,54E+18	2,88E+17	8,37E+16
Summe	18002,451	1,58E+20	7,35E+19	4,63E+19	1,62E+19	2,27E+18	8,31E+17

Kategorie	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
Direkte Endlagerung	2,76E+17	1,72E+17	7,89E+16	2,69E+16	1,76E+16	9,96E+15
Wiederaufarbeitung	2,01E+16	1,32E+16	8,61E+15	5,76E+15	3,71E+15	1,98E+15
Summe	2,96E+17	1,85E+17	8,75E+16	3,27E+16	2,13E+16	1,19E+16

Tabelle 22: Gesamtmasse Schwermetall [MTIHM] und Aktivität [Bq] des gesamten der Endlagerung zugeführten Inventars von BE und W, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030.

D.4 Modellierung des gesamten Aktivitätsinventars aller Abfälle vs. Zeit bei realer Akkumulation

Neben den Nuklidinventaren der Herkunftskategorie "Direkte Endlagerung von Brennelementen (BE)" und "Wiederaufarbeitungsabfälle (W)" wurde auch das Inventar der "Stilllegungsabfälle (S)" erfasst, also der bei der Nachbetriebsphase und beim Rückbau jeder Anlage anfallenden Radionuklide. Das Inventar wurde für jede Anlage zum Zeitpunkt der Stilllegung erfasst und anschliessend real zwiebelschalenartig akkumuliert. Weiter sind die Herkunftskategorien "F (Forschungseinrichtungen)", "I (kerntechnische Industrie)", "K (Abfälle aus dem Betrieb der Kernkraftwerke)", "L (Landessammelstellen)", sowie "U (von sonstigen Ablieferungspflichtigen)" berücksichtigt. Ausgehend vom Referenzzeitpunkt 01.01.2030 wurden die üblichen 11 Zeithorizonte bis 1 Million Jahre gerechnet.

Die folgende Tabelle zeigt das gesamte Aktivitätsinventar in den acht erwähnten Herkunftskategorien (BE, F, I, K, L, S, U, W).

Kategorie	01.01.2030 [Bq]	30 a [Bq]	50 a [Bq]	100 a [Bq]	300 a [Bq]	1.000 a [Bq]
BE	1,14E+20	5,18E+19	3,25E+19	1,17E+19	1,98E+18	7,48E+17
F	4,61E+15	3,29E+15	2,84E+15	9,00E+14	1,01E+14	4,63E+13
I	5,88E+15	3,22E+15	2,71E+15	1,29E+15	7,97E+14	3,80E+14
K	8,20E+15	4,93E+15	3,96E+15	2,48E+15	5,65E+14	4,34E+13
L	5,76E+13	5,79E+13	5,83E+13	4,83E+13	4,20E+13	3,54E+13
S	2,14E+17	1,48E+17	1,23E+17	8,20E+16	1,98E+16	1,74E+15
U	1,61E+12	2,11E+12	2,31E+12	9,39E+11	6,52E+11	7,01E+11
W	4,37E+19	2,18E+19	1,38E+19	4,54E+18	2,88E+17	8,37E+16
Summe	1,58E+20	7,37E+19	4,64E+19	1,63E+19	2,29E+18	8,34E+17

Kategorie	3.000 a [Bq]	10.000 a [Bq]	30.000 a [Bq]	100.000 a [Bq]	300.000 a [Bq]	1 Mio a [Bq]
BE	2,76E+17	1,72E+17	7,89E+16	2,69E+16	1,76E+16	9,96E+15
F	2,54E+13	1,67E+13	8,04E+12	3,21E+12	3,85E+12	5,86E+12
I	1,85E+14	1,18E+14	5,54E+13	2,19E+13	1,43E+13	7,66E+12
K	3,89E+13	3,57E+13	2,93E+13	1,53E+13	2,47E+12	1,99E+10

L	2,71E+13	1,52E+13	8,09E+12	8,37E+12	9,52E+12	9,77E+12
S	1,36E+15	8,54E+14	4,34E+14	2,13E+14	6,22E+13	2,48E+13
U	7,67E+11	7,22E+11	6,06E+11	5,04E+11	4,22E+11	4,09E+11
W	2,01E+16	1,32E+16	8,61E+15	5,76E+15	3,71E+15	1,98E+15
Summe	2,97E+17	1,86E+17	8,81E+16	3,29E+16	2,14E+16	1,20E+16

Tabelle 23: Aktivität [Bq] des gesamten der Endlagerung zugeführten Inventars der o.g. Herkunftskategorien, bezogen auf den Referenzzeitpunkt 01.01.2030 und unterteilt in die acht Kategorien direkte Endlagerung (BE), Forschungseinrichtungen (F), Kerntechnische Industrie (I), Betriebsabfälle (K), Landessammelstellen (L), Stilllegungsabfälle (S), sonstige Ablieferungspflichtige (U), sowie Wiederaufarbeitung (W).

D.5 Literaturverzeichnis

- [1] SCALE4.4a, Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation for Workstation and Personal Computers, RSICC Computer Code Collection CCC 545, Oak Ridge National Laboratory, 2000
- [2] ORIGIN 2.1 Isotope Generation and Depletion Code, Matrix Exponential Method, RSICC Computer Code Collection CCC 371, Oak Ridge National Laboratory, 1991
- [3] Dieter Niephaus, Referenzkonzept zur direkten Endlagerung von abgebrannten HTR-Brennelementen in CASTOR THTR/AVR Transport- und Lagerbehältern, Abschlussbericht, Jül-3734, Forschungszentrum Jülich, November 1999
- [4] World Nuclear Industry Handbook / ed: James Varley, 1987 (1986-). Sutton, Surrey, England, Nuclear Engineering International
- [5] atw – Internationale Zeitschrift für Kernenergie, Informationskreis KernEnergie, Berlin
- [6] H.O.Haug, Zerfallsrechnungen verschiedener mittelaktiver und actinidenhaltiger Abfälle des LWR-Brennstoffkreislaufes, Teil I, KfK 3221, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Oktober 1981
- [7] <http://www.wak-karlsruhe.de/daten/durchsatz.html>
- [8] Handbuch zur Verfahrensqualifikation: Verglasung des WAK-HAWC in der Verglasungseinrichtung Karlsruhe (VEK), WAK, 30.09.2001
- [9] Reinhard Odoj, Peter Brennecke, Udo Hellwig: Entsorgung von deutschen Forschungsreaktoren, Jahrestagung Kerntechnik 2003, Fachsitzung Entsorgung / Stilllegung, S. 21-28, (November 2003)

D.5.1 Verwendete Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
AGR	"Advanced Gas-cooled Reactor", britischer graphitmoderierter gasgekühlter Reaktortyp
atw	Zeitschrift Atomwirtschaft
AVR	Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor
BBGA, BBGB	Kernkraftwerk Biblis A, B
BE	Brennelement
Bq	Becquerel, Einheit der Radioaktivität [1/sec]
DWR	Druckwasserreaktor
F	Forschungseinrichtungen
FKS	Feedklärschlämme (centrifuge cake slurry), eine mittelaktive Abfallsorte von BNFL
GKN1, GKN2	Gemeinschaftskraftwerk Neckar 1, 2
HAW	"High Active Waste", hochaktiver Abfall

HEU	Hochangereichertes Uran (High Enriched Uranium), Anreicherung typisch zwischen 70 und 93 Gewichts-% U-235
Hulls & Ends	Hülsen und Endstücke (H & E)
I	Kerntechnische Industrie
ILR	"Intermediate Level Residue", mittelaktive Abfallsorte von UKAEA Dounreay
K	Abfälle aus dem Betrieb der Kernkraftwerke
KBR	Kernkraftwerk Brokdorf
KGA	Kernkraftwerk Gundremmingen A
KGGB, KGGC	Kernkraftwerk Gundremmingen B, C
KGR	Kernkraftwerk Greifswald
KI1, KI2	Kernkraftwerk Isar 1, 2
KKB	Kernkraftwerk Brunsbüttel
KKE	Kernkraftwerk Emsland
KKG	Kernkraftwerk Grafenrheinfeld
KKK	Kernkraftwerk Krümmel
KKP1, KKP2	Kernkraftwerk Philippsburg 1, 2
KKR	Kernkraftwerk Rheinsberg
KKS	Kernkraftwerk Stade
KKU	Kernkraftwerk Unterweser
KWG	Kernkraftwerk Grohnde
KWL	Kernkraftwerk Lingen
KWO	Kernkraftwerk Obrigheim
KWW	Kernkraftwerk Würgassen
L	Landessammelstellen
LEU	Niedrigangereichertes Uran (Low Enriched Uranium), Anreicherung typisch bis 20 Gewichts-% U-235
LWR	Leichtwasserreaktor
MAGNOX	Britischer schwerwassermoderierter Natururanreakortyp, benannt nach einer darin verwendeten Magnesiumlegierung
MAW	"Medium Active Waste", mittelaktiver Abfall
MEB	"Multi-Element Bottle", Transportbehälter der BNFL für verschiedene BE-Typen, sowie mittelaktive Abfallsorte von BNFL
MKA	Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich
MTIHM	"Metric Ton Initial Heavy Metal", Einheit für unbestrahlte Masse Schwermetall [Mg]
MWD	Megawatttage, Einheit der produzierten (thermischen) Energie
MWD/MTIHM	Einheit des Abbrandes (erzeugte thermische Energie pro Masseneinheit Schwermetall)
ORIGEN	Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code [2]
RAKE	Rosendorfer Anordnung für kritische Experimente
RFR	Rosendorfer Forschungsreaktor
RRR	Rosendorfer Ringzonenreaktor
S	Stilllegungsabfälle
SCALE	Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation for Workstation and Personal Computers, Sammlung von Rechenprogrammen u.a. für Nuklidinventar- und Kritikalitätsberechnungen (siehe Literaturverzeichnis)
SLLR	"Solid Low Level Residues", schwachaktiver technologischer Abfall, eine Abfallsorte von BNFL
SWR	Siedewasserreaktor
THTR	Thorium-Hochtemperatur-Reaktor-Kraftwerk
U	Abfälle von sonstigen Ablieferungspflichtigen
W	Wiederaufarbeitungsabfälle
WNIH	World Nuclear Industry Handbook (siehe Literaturverzeichnis)