

Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Verfahrensunterlage

Titel: Radionuklidinventar des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben
Einlagerungszeitraum 1971 bis 1991

Autor: Kugel, K.

Erscheinungsjahr: 2006a

Unterlagen-Nr.: P 251

Revision: 00

Unterlagenteil:



INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	2
Abkürzungsverzeichnis	3
Vorbemerkung	4
1 Ausgangssituation	6
2 Ergänzungen zum Aktivitätsinventar der Kleinabfalllieferer und des ZfK Rossendorf	8
2.1 Plutoniuminventar im Westfeld des ERAM	8
2.2 Abfälle aus dem ehemaligen ZfK Rossendorf	9
2.3 Uraninventar im Westfeld	11
2.4 Ra-226-Inventar im Abbau 1 des Südfeldes des ERAM	12
2.5 H-3-Inventar im ERAM	12
2.6 Co-60-Inventar auf der 4a-Sohle des Zentralteils	13
3 Ergänzung der Abfalldaten für KKW-Abfälle	14
3.1 Aktivitätsbestimmungen durch die KKW	16
3.2 Feste Eindampfrückstände	17
3.2.1 Einlagerungsbereiche	19
3.2.2 Jährliche Einlagerung	19
3.2.3 Radionuklidspezifische Aktivitätsinhalte der EDR _{st} im ERAM	22
3.3 Flüssige Eindampfrückstände	23
3.3.1 Einlagerungsbereiche und jährliche Einlagerung	24
3.3.2 Radionuklidspezifische Aktivitätsinhalte der EDR _{fl} im ERAM	29
3.4 Feste Mischabfälle	30
3.4.1 Vergleich fester Mischabfälle aus den KKW Greifswald und Rheinsberg	30
3.4.2 Einlagerungsbereiche	32
3.4.3 Jährliche Einlagerung	32
3.4.4 Radionuklidspezifische Aktivitätsinhalte der festen Mischabfälle im ERAM	37
4 Radionuklidinventar der 1971 – 1991 eingelagerten Abfälle	39
4.1 Radionuklidspezifische Aktivitäten im gesamten ERAM nach Ergänzung bzw. Präzisierung des Radionuklidinventars	39
4.2 Radionuklidspezifische Aktivitäten in den einzelnen Einlagerungsbereichen des ERAM nach Ergänzung bzw. Präzisierung des Radionuklidinventars	42
5 Betrachtung der Unsicherheiten des Radionuklidinventars	45
5.1 Annahmebedingungen für das ERAM	45
5.2 Aktivitätsangaben	45
5.3 Anforderungen an die Genauigkeit der Angaben	46
5.4 Produktkontrolle	46
5.5 Ausgangskontrollen	47
5.5.1 Kernkraftwerke	47
5.5.2 ZfK Rossendorf	48
5.5.3 Abfallverursacher aus dem Bereich der Anwendung und Produktion von Radionukliden (APR)	49
6 Schlussbemerkungen	50
Literaturverzeichnis	51

Gesamtseitenzahl: 51

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb. 1: Übersicht über die bis 1991 im ERAM eingelagerten radioaktiven Abfälle
- Abb. 2: Prozentuale Aufteilung der im ERAM bis 1991 eingelagerten Volumina
- Abb. 3: Prozentuale Aufteilung des Volumens der im ERAM bis 1991 eingelagerten flüssigen Abfälle

TABELLENVERZEICHNIS

- Tab. 1: Zusammenfassung des Aktivitätsinventars der ZfK-Abfälle
- Tab. 2: Vergleich der Aktivitätskonzentrationen (AK) ausgewählter, gut messbarer Radionuklide nach Siemens KWU und vergleichbarer Messwerte aus KWU-DWR-Anlagen
- Tab. 3: Vergleich von Messwerten gut messbarer Radionuklide in EDR_{st}
- Tab. 4: Mittelwerte der Aktivitätskonzentrationen aus den Abfalldatenblättern für feste Verdampferkonzentrate des KGR
- Tab. 5: Eingelagerte EDR_{st} - Volumina in den Abbauen 1 und 2 des Südfeldes
- Tab. 6: Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivitäten für EDR_{st} im Abbau 1
- Tab. 7: Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivitäten für EDR_{st} im Abbau 2
- Tab. 8: Radionuklidspezifische Aktivitätsinhalte der EDR_{st} in den betreffenden Einlagerungsbereichen
- Tab. 9: Mittelwerte der Aktivitätskonzentrationen aus den Abfalldatenblättern des KGR, umgerechnet auf flüssige Verdampferkonzentrate (EDR_{fl})
- Tab. 10: Jährlich eingelagerte Abfallvolumina EDR_{fl}
- Tab. 11: Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivitäten für EDR_{fl} im Abbau 2
- Tab. 12: Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivitäten für EDR_{fl} im Abbau 3
- Tab. 13: Radionuklidspezifische Aktivitäten für EDR_{fl} im ERAM
- Tab. 14: Beschreibung von Mischabfällen aus dem KGR und dem KKR, die im Zeitraum 1994 bis 1996 im ERAM eingelagert wurden
- Tab. 15: Mittelwerte der Aktivitätskonzentrationen aus den Abfalldatenblättern für Mischabfälle des KGR und des KKR
- Tab. 16: Im ERAM bis 1991 eingelagerte feste Mischabfälle aus dem KKW-Bereich
- Tab. 17: Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivitäten für Mischabfälle aus dem KKR im Westgesenk
- Tab. 18: Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivitäten für KKW-Mischabfälle auf der 4a-Sohle des Zentralteils und im Nordfeld
- Tab. 19: Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivitäten für KKW-Mischabfälle im Westfeld
- Tab. 20: Radionuklidspezifische Aktivitätsinhalte der KKW-Mischabfälle in den betreffenden Einlagerungsbereiche
- Tab. 21: Aktivitätsinventar des gesamten ERAM nach Präzisierung bzw. Ergänzung
- Tab. 22: Radionuklidspezifische Aktivitäten der bis 1991 eingelagerten radioaktiven Abfälle nach Präzisierung bzw. Ergänzung bezogen auf die Einlagerungsbereiche

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

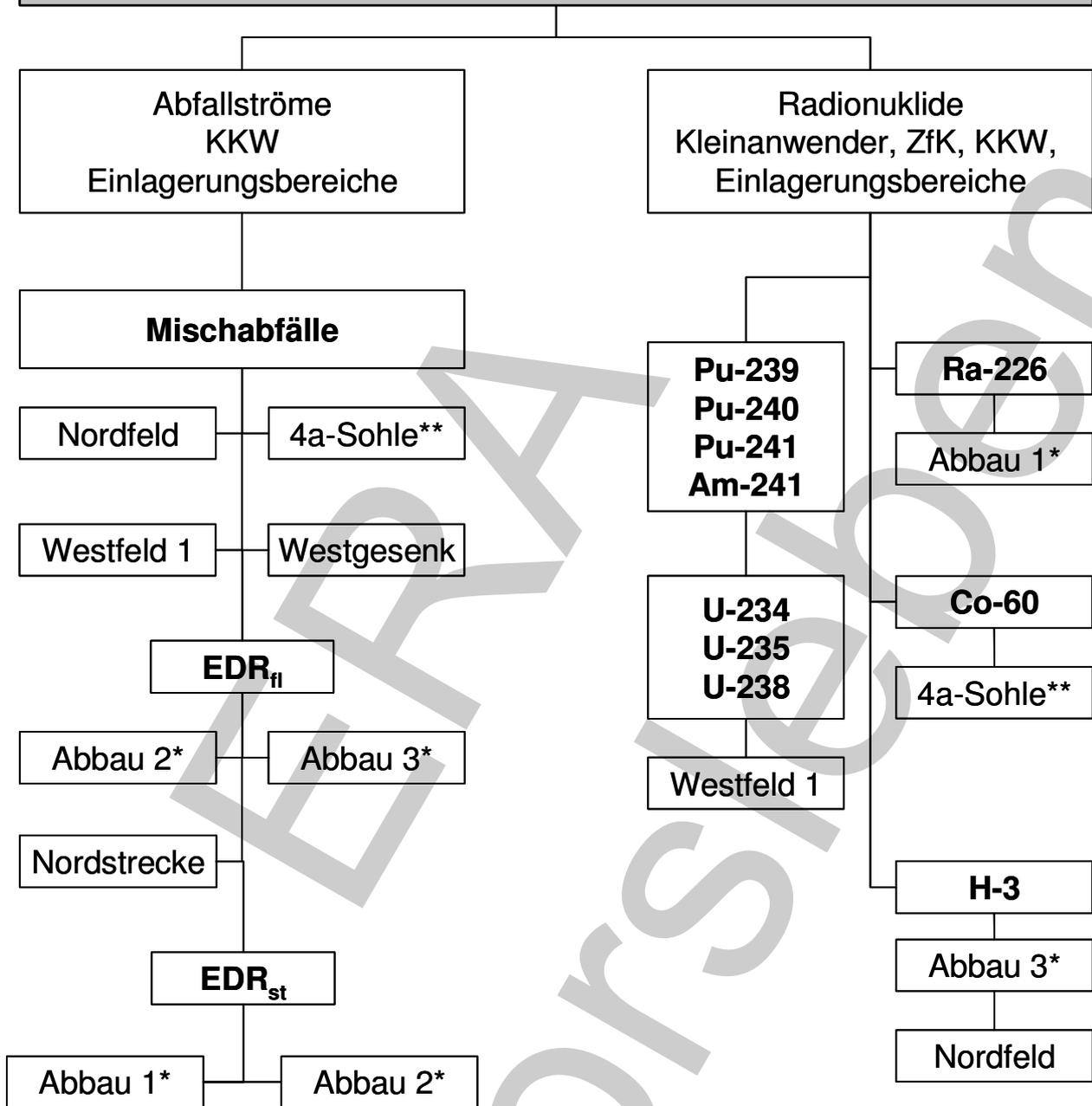
A	Aktivität
AK	Aktivitätskonzentration
APR	Anwendung und Produktion von Radionukliden
AVK	Abfallflussverfolgungs- und Produktkontrollsystem, Dokumentationssystem
AVK-ELA	Endlagermodul des AVK zur Überprüfung der Einhaltung der Endlagerungsbedingungen und Erstellung der Dokumentation
BT-A	Betriebsteilanweisung
EDR	Eindampfrückstände
EDR _{fl}	Eindampfrückstände flüssig
EDR _{st}	Eindampfrückstände stabil (fest)
ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
ERAPROT	Programm zur computergestützten Protokollierung der vom ERAM übernommenen und endgelagerten radioaktiven Abfällen
HAS	Hauptabsperrschieber
HUP	Hauptumwälzpumpe
IRM	Ionisationsrauchmelder
KGAO	Kernanlagen-Genehmigungsanordnung
KGR	Kernkraftwerk Greifswald
KKW	Kernkraftwerk
KKR	Kernkraftwerk Rheinsberg
PKS	Produktkontrollstelle
RDVA	Rotationsdünnschichtverdampferanlage
RFR	Rosendorfer Forschungsreaktor
SAAS	Staatliches Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz der DDR
SUS	Steuer- und Schutzsystem
V	Volumen
VKTA	Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf
VOAS	Verordnung zur Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz
WWER	sowjetischer Druckwasserreaktor, Wasser-Wasser-Energie-Reaktor
Zfi	Zentralinstitut für Isotopenforschung
ZfK	Zentralinstitut für Kernforschung

VORBEMERKUNG

Die Angaben zu den im Zeitraum von 1971 bis 1991 im ERAM eingelagerten radioaktiven Abfällen stammen überwiegend aus der Auswertung der Übergabe-/Übernahmeprotokolle der Abfalllieferer bei der Ablieferung an das ERAM. Der Umfang und der Tiefgang der damit zur Verfügung stehenden Angaben entspricht nicht dem Detaillierungsgrad, wie er in den Planungsunterlagen des BfS zum Endlager Konrad vorgegeben wurde. Um hier gleichartig vorzugehen, wird hiermit nach der Übernahme des ERAM durch das BfS der Ansatz gemacht, das im Einlagerungszeitraum 1971 bis 1991 entsorgte Radionuklidinventar durch Heranziehen des „ERAPROT“, weitergehender Messungen und von Vergleichen zu KKW mit Druckwasserreaktoren in den alten Bundesländern zusätzliche Informationen bereitzustellen, mit deren Hilfe das eingelagerte Inventar präziser beschrieben werden kann.

Mit der vorliegenden Unterlage wird eine Beschreibung des im Zeitraum 1971-1991 eingelagerten Aktivitätsinventars vorgenommen, die nach gegenwärtigem Kenntnisstand umfassend ist und unter Heranziehung aller verfügbaren Quellen erfolgte. Die vorgenommenen Ergänzungen bzw. Präzisierungen werden im Überblick in der nachfolgenden Abbildung visualisiert.

Ergänzungen zum Radionuklidinventar im ERAM für den Zeitraum 1971 bis 1991



* Südfeld: Abbau 1, Abbau 2, Abbau 3

** Zentralteil: 4a-Sohle

EDR_{fl}: flüssige Eindampfrückstände

EDR_{st}: verfestigte Eindampfrückstände

1 AUSGANGSSITUATION

Die Abfalldaten der eingelagerten Abfälle wurden bis zur Einstellung des Einlagerungsbetriebes im Februar 1991 von den Abfalllieferern in Übergabe-/Übernahmeprotokollen dokumentiert. Diese enthielten Angaben zur Abfallart, Strahlenschutzgruppe, Verpackungsart, Anzahl der endzulagernden Abfallgebinde, Volumen des Abfalls, Anzahl der Strahlenquellen und deren Abmessungen, Masse des Abfalls, Anzahl der im Abfall enthaltenen Radionuklide und deren Aktivität. Das ERAM übernahm diese Daten. Vom Erfassungsdienst des Endlagers erfolgte eine Plausibilitätsprüfung der Unterlagen anhand bereits vorliegender Abfalldaten. Gegenüber der Aufsichtsbehörde (Staatliches Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz - SAAS) wurden die eingelagerten Abfallvolumina und die Gesamtaktivitäten für die verschiedenen Einlagerungsbereiche in Monats- und Jahresberichten dokumentiert.

Die Umsetzung der GRS-Empfehlung E-3.2.15.2-2 [1], die Abfalldaten der Übergabe-/Übernahmeprotokolle rechnergestützt zu erfassen, „um nach einer rechnergestützten Aktivitätskorrektur zu realistischen, nuklid-spezifischen Aktivitätsinventaren des Endlagers Morsleben zu kommen“, wurde von DBE/ ERAM in dem Bericht: "Computergestützte Protokollierung der vom Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben übernommenen und endgelagerten radioaktiven Abfällen", H. Schulz, 11.10.1991 [2] der Revision 1 dieses Berichtes Stand: 17.02.1995 [3], der Revision 2, Stand: 01.03.1996 [4] sowie der Revision 3, Stand: 19.03.1998 [5] realisiert. Im Weiteren wird dieser Bericht kurz ERAPROT genannt.

Seit 1990 wurden somit die Abfalldaten rückwirkend bis 1971 aus den Übergabe-/Übernahmeprotokollen rechnergestützt erfasst und damit auch radionuklidspezifisch bilanziert. Die zuletzt vorliegende Fassung des Programmsystems ERAPROT und das damit betriebene Datenbanksystem gestatten die Verfolgung aller vom ERAM erfassten und endgelagerten radioaktiven Abfälle unter Berücksichtigung der hauptsächlich endlagerrelevanten Abfallparameter. Diese rechnergestützte Erfassung beinhaltet jedoch nur die Angaben, die dem Endlager von den Abfalllieferern zu ihren Abfällen mitgeteilt wurden.

Das Gros der Abfälle im ERAM stammte sowohl mengenmäßig als auch aktivitätsmäßig aus dem Betrieb der Kernkraftwerke Greifswald und Rheinsberg. Von den verbleibenden Abfällen stammte wiederum der überwiegende Teil aus dem Betrieb des Forschungsreaktors Rossendorf. Die restlichen Abfälle waren fast ausschließlich Strahlenquellen und radioaktive Präparate, deren Abfälle aus Einzelnukliden bestanden und gut bekannt und dokumentiert wurden. Eine geringe Menge an Abfällen wurde ferner aus dem ehemaligen Zwischenlager Lohmen nach Morsleben zur Endlagerung verbracht.

Bei den eingelagerten festen Abfällen handelte es sich im Wesentlichen um feste, z. T. brennbare Mischabfälle und verfestigte Eindampfrückstände (Verdampferkonzentrate). Als flüssige Abfälle wurden zum größten Teil flüssige Eindampfrückstände aus den KKW mit Braunkohlenfilterasche vor Ort im ERAM verfestigt (In-situ-Verfestigung). Als „umschlossene Strahlenquellen“ wurden vorwiegend unversehrte Beta-/Gamma-Strahlenquellen endgelagert; daneben eine geringe Anzahl von Alpha-Strahlenquellen. Undichte Strahlenquellen wurden z. B. in Zement verfestigt und als „Feste Abfälle“ endgelagert.

Die Aktivitätsangaben für Abfälle aus den Kernkraftwerken basierten überwiegend auf gut messbaren Aktivitäten der Beta-/Gamma-Strahler (Cs-137, Cs-134, Co-60, Co-58 und Mn-54). Bei Abfallverursachern aus dem Bereich der Anwendung und Produktion von Radionukliden (APR) wurden die Aktivitätsangaben auf der Basis von Messungen/Schätzungen vorgenommen. Bei flüssigen Abfällen wurden zusätzlich zu den Angaben der Abfallverursacher stichprobenartige Aktivitätsbestimmungen im ERAM durchgeführt. Radionuklide, die z. B. von Bedeutung für die Langzeitsicherheit sind, konnten wegen des Fehlens geeigneter Messmethoden bzw. Messtechnik nicht bestimmt werden. Das betraf vor allem die radioaktiven Abfälle der Hauptabfallverursacher aus dem KKW-Bereich.

Zur genaueren Charakterisierung des bis 1991 im ERAM eingelagerten Aktivitätsinventars war eine Bewertung und ggf. eine Ergänzung der von den Abfalllieferern angegebenen Radionuklide und Aktivitäten notwendig. Anhand der Ergebnisse von radiochemischen Analysen an Verdampferkonzentraten aus dem KKW Greifswald, die 1992 von Siemens KWU und ebenfalls von der Produktkontrollstelle des BfS (PKS) durchgeführt wurden, sowie anhand der Abfalldaten der seit 1994 eingelagerten radioaktiven Abfälle aus dem KKW Greifswald wurde eine Ergänzung der von den Hauptabfalllieferern angegebenen und im ERAPROT

dokumentierten Aktivitäten für die nach den zuletzt gültigen Endlagerungsbedingungen [17] deklarationspflichtigen Radionuklide in den KKW-Abfällen vorgenommen.

Unrealistisch erschienen auch die unterschiedlichen Angaben zum Pu-239-Gehalt der eingelagerten Plutonium-Ionisationsrauchmelder (IRM). Vom BfS wurde eine Bestimmung des Pu-239-Gehaltes in diesen IRM in der Produktkontrollstelle Jülich in Auftrag gegeben, um das endgelagerte Pu-239-Inventar genauer angeben zu können. Weiterhin wurden die aus dem ehemaligen ZfK Rossendorf eingelagerten Abfallgebinde hinsichtlich eines abdeckenden Nuklidvektors verifiziert und die angegebenen Radionuklidinventare im Hinblick auf die in das ERAM verbrachten Abfallströme vervollständigt. Darüber hinaus wurde die Richtigstellung dieses Abfalllieferers zu 1990 eingelagerten uranhaltigen Abfällen berücksichtigt. Untersuchungsergebnisse bezüglich des aus Lohmen eingelagerten nicht deklarierten Radiuminventars wurden ebenso aufgenommen wie das im Abbau 3 des Südfeldes eingelagerte nicht richtig deklarierte Tritiuminventar und das Co-60-Inventar auf der 4a-Sohle des Zentralteils. Weiterhin konnte nicht ausgeschlossen werden, dass 1984 eine Pu-Be-Neutronenquelle aus dem KKW Greifswald versehentlich mit anderen Schrottteilen im Westfeld des ERAM endgelagert wurde. Die radionuklidspezifischen Aktivitäten dieser Pu-Be-Neutronenquelle wurden zum Inventar des Westfeldes hinzugefügt.

ERA
Morsleben

2 ERGÄNZUNGEN ZUM AKTIVITÄTSINVENTAR DER KLEIN-ABFALLLIEFERER UND DES ZFK ROSSENDORF

2.1 PLUTONIUMINVENTAR IM WESTFELD DES ERAM

Nach Untersuchungen an 3 Ionisationsrauchmeldern (IRM) mit Pu-239 in der Produktkontrollstelle Jülich zur Feststellung eines genaueren Pu-239-Gehalts der IRM im Jahr 1992 [6] ergibt sich die folgende Korrektur an der computergestützten Protokollierung der bis 1991 endgelagerten radioaktiven Abfälle:

Der Pu-239-Gehalt eines IRM beträgt nach den vorliegenden Analysenergebnissen im Mittel ca. $2,6E+06$ Bq. Bei 5228 Stück IRM, die in A1-Abfälle überführt und als solche endgelagert wurden, beträgt die Pu-239-Aktivität im Westfeld somit ca. $1,36E+10$ Bq.

Die Untersuchungen in der Produktkontrollstelle des BfS Jülich (PKS) erbrachten weiter das Ergebnis, dass es sich bei dem in den Ionisationsrauchmeldern eingesetzten Plutonium um Isotopengemische unterschiedlicher Zusammensetzung handelte. Die Gesamtaktivität setzt sich im Wesentlichen aus der Aktivität von Am-241, Pu-239 und Pu-241 zusammen, wobei der Hauptanteil zur Gesamtaktivität stets vom Pu-241 geliefert wird. Daneben wurden Pu-238 und Pu-240 nachgewiesen. Diese Zusammensetzung stimmt mit den Kenntnissen zu den aus der ehemaligen UdSSR gelieferten Pu-Strahlenquellen überein [7]. Zur Herstellung von Pu-Strahlenquellen (z. B. Pu-Ionisationsrauchmelder) wurde das in einem Kernreaktor gebildete Plutonium aus dem abgebrannten Kernbrennstoff chemisch abgetrennt. Je nach Herkunft entstand ein Isotopengemisch mit wechselnder Zusammensetzung, das allgemein als Plutonium bezeichnet wurde. Ein als Pu-239 deklariertes Produkt besteht meist aktivitätsmäßig nur zu einem sehr geringen Anteil aus Pu-239. Der Hauptanteil der Aktivität solchen „Reaktorplutoniums“ besteht aus Pu-241, dem Mutternuklid von Am-241.

Die in den Zertifikaten der Pu-239-Ionisationsrauchmelder deklarierte Aktivität gibt die Gesamtaktivität der Alpha-Strahler grob wieder. Die Aktivitäten der übrigen Strahler wurden darin nicht deklariert. Die Aktivität der Radionuklide, die bisher nicht berücksichtigt wurde, beträgt im Mittel pro IRM:

Pu-239	ca. $2,6E+06$ Bq
Am-241	ca. $2,4E+06$ Bq
Pu-240	ca. $4,2E+05$ Bq
Pu-241	ca. $1,2E+07$ Bq

Daraus resultieren bei 5228 Stück IRM folgende Aktivitäten:

Pu-239	ca. $1,4E+10$ Bq
Am-241	ca. $1,25E+10$ Bq
Pu-240	ca. $2,2E+09$ Bq
Pu-241	ca. $6,5E+10$ Bq

Die Aktivitäten dieser Radionuklide werden nunmehr bei den im Westfeld eingelagerten Abfällen berücksichtigt.

Bei der aus dem KKW Greifswald aus einer Borsäuremesszelle stammenden Pu-Be-Neutronenquelle, die 1984 wahrscheinlich im ERAM endgelagert wurde, handelte es sich um eine Neutronenquelle aus der ehemaligen UdSSR vom Typ IBN-10. Der Plutoniumgehalt der Pu-Be-Neutronenquellen vom Typ IBN musste rechnerisch ermittelt werden, da die Zertifikate des Quellenherstellers keine konkreten Angaben zu den Plutoniummengen der jeweiligen Neutronenquelle enthalten. Der Plutoniumgehalt der speziellen Neutronenquelle wurde gemäß dem durch SAAS und IAEA generell festgelegten Berechnungsfaktor (10^6 Neutronen/ Sekunde entsprechen $2,3$ g Pu) aus der zertifizierten Neutronenemission mit $27,1$ g ermittelt.

Im Jahr 1993 wurde im Auftrag des BfS von der PKS Jülich der Plutoniumgehalt von 10 Pu-Be-Neutronenquellen gammaspektrometrisch bestimmt. Auch bei dem in den Neutronenquellen eingesetzten Plutonium handelte es sich um Isotopengemische. Da die Zusammensetzung der Pu-Be-Neutronenquellen sehr stark schwankt, kann hier nur eine mittlere Zusammensetzung angenommen werden. Bei der Angabe von Pu-241 wurde ein Alter der Neutronenquelle von 20 Jahren zugrunde gelegt. Genaue Angaben sind nicht bekannt. Aus den Untersuchungen resultierte folgender mittlerer massenbezogener Isotopenvektor für die Pu-Be-Quellen vom Typ IBN:

0,6 %	Pu-238
75 %	Pu-239
24 %	Pu-240
0,5 %	Pu-241

Als Folge des radioaktiven Zerfalls von Pu-241 bildet sich zunehmend Am-241. Auf die Aktivität der speziellen Pu-Be-Neutronenquelle aus dem KKW Greifswald bezogen ergibt sich damit eine Zusammensetzung von:

Pu-238	1,0E+11 Bq
Pu-239	4,7E+10 Bq
Pu-240	5,5E+10 Bq
Pu-241	5,2E+11 Bq
(Am-241	2,8E+10 Bq).

Unter der Annahme eines Quellenalters von 20 Jahren (genauere Angaben sind nicht bekannt) wird Am-241 mit einer Aktivität von 2,8E+10 Bq gebildet. Die Pu-Be-Neutronenquelle hat eine Gesamtaktivität von ca. 7,5E+11 Bq, davon entfallen ca. 2,3E+11 Bq auf die Aktivität der Alpha-Strahler (bezogen etwa auf das Jahr 2000). Die radionuklidspezifischen Aktivitäten für die deklarationspflichtigen Radionuklide Pu-239, Pu-240, Am-241 und Pu-241 werden auf das Jahr 1991 bezogen und zu dem Aktivitätsinventar des Westfeldes hinzugefügt:

Pu-239	4,7E+10 Bq
Pu-240	5,5E+10 Bq
Pu-241	8,7E+11 Bq
Am-241	1,8E+10 Bq.

2.2 ABFÄLLE AUS DEM EHEMALIGEN ZfK ROSSENDORF

Die aus dem ehemaligen ZfK Rossendorf eingelagerten Abfallgebinde wurden hinsichtlich eines abdeckenden Nuklidvektors verifiziert und die angegebenen Radionuklidinventare auf Vollständigkeit im Hinblick auf die in das ERAM verbrachten Abfallströme betrachtet.

Folgende Abfallströme des ZfK Rossendorf, die im ERAM eingelagert wurden, sind identifiziert und hinsichtlich eines abdeckenden Nuklidvektors in [8] beschrieben worden:

- flüssige Abfälle (Abwässer),
- feste Mischabfälle der Strahlenschutzgruppen S1 und S2,
- feste Mischabfälle der Strahlenschutzgruppen S3 bis S5,
- Luftfilter und sperrige Abfälle.

Die Abfälle des ZfK stammen aus dem Betrieb des Rossendorfer Forschungsreaktors (RFR), aus der Isotopenproduktion, zu der auch die Spaltmolybdängewinnungsanlagen (AMOR I und II) gehörten, sowie Ende der 80er Jahre aus Rekonstruktionsmaßnahmen des RFR und von Anlagen der Isotopenproduktion (Isotopenaktivierung im RFR). Die in den Abfällen enthaltenen Radionuklide sind damit sehr breit gefächert und reichen von Spalt- und Aktivierungsprodukten bis zu Kernbrennstoffrückständen und den unterschiedlichsten Radionukliden der Isotopenproduktion.

Aus den Daten der radioaktiven Abfälle, die ab 1994 aus dem VKTA Rossendorf in das ERAM eingelagert wurden, wurde auf die vor 1990 in den Übergabe-/Übernahmeprotokollen nicht deklarierten Radionuklide in den festen Abfällen der Strahlenschutzgruppen S1/S2 geschlossen, da sie ebenfalls Bestandteile der früheren Abfälle waren. Bei den ab 1994 im ERAM eingelagerten Abfällen des VKTA handelte es sich ausschließlich um feste Mischabfälle der Strahlenschutzgruppen S1 und S2. Es waren größtenteils gesammelte Abfälle der vorangegangenen Jahre aus der Isotopenproduktion sowie Rekonstruktions- und Stilllegungsabfälle. Aus den zur Verfügung gestellten Daten dieser Abfälle wurde ein mittlerer Nuklidvektor gebildet. Bei der Übernahme von Radionukliden in die Vektoren der Altabfälle sind alle Radionuklide berücksichtigt worden, die in jedem Abgabebjahr von 1994 bis 1998 deklariert worden waren. Nuklide, die nur sporadisch und in geringen Mengen angegeben wurden (wie z. B. Am-241 und Cf-252), fanden keine Berücksichtigung.

Ausgehend von Informationen, von recherchierten Angaben zu Radionukliden in den Abfällen aus alten Dokumenten, von 1995 erstellten Nuklidvektoren und von deklarierten Radionukliden in den nach 1994 abgegebenen Abfällen wurden fehlende Radionuklide oder nur unzureichend angegebene Aktivitäten präzisiert. Es sind dabei die aus den Informationen abgeleiteten durchschnittlichen Anteile der Radionuklide über den gesamten Einlagerungszeitraum 1981 bis 1990 angenommen worden. Die Ergänzungen bzw. Präzisierungen erfolgten in der Weise, dass von einem abdeckenden Gehalt der betreffenden Radionuklide ausgegangen werden kann.

Die angegebenen mittleren Aktivitätskonzentrationen stellen sehr grobe Mittelwerte dar, da die tatsächliche Zusammensetzung der Abfälle auf Grund des unterschiedlichen Ursprungs der Abfälle jährlich sehr große Schwankungen aufwies. Hinsichtlich der Aktivitätsmessungen, die den Ursprungsdaten zugrunde liegen, ist außerdem bei den flüssigen Abfällen von einem Messfehler bzw. Schwankungsbereich mit dem Faktor 2 auszugehen. Bei den festen Abfällen erfolgte die Aktivitätsberechnung auf der Grundlage von Dosisleistungsmessungen, so dass im Falle der Gamma-Strahler ebenfalls ein Faktor 2 als realistisch erscheint, für Alpha- und Beta-Strahler können die Daten durchaus in einem Schwankungsbereich des Faktors 10 liegen.

Nicht alle Radionuklide treten sowohl als Bestandteile der flüssigen als auch der festen Abfälle auf. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass insbesondere die in den festen Abfällen angegebenen Radionuklide bei Dekontaminationsmaßnahmen auch in die flüssigen Abfälle gelangt sind. Dabei können die Korrelationen zwischen den Radionukliden in den festen Abfällen jedoch nicht ohne Weiteres auf die flüssigen Abfälle übertragen werden. Der Fehlerbereich, der oben mit dem Faktor 10 benannt wurde, könnte dann auch um 1 – 2 Größenordnungen höher liegen.

Für die flüssigen Abfälle betrifft dies die Radionuklide Cs-134, Eu-154, Mn-54, Pu-240, Pu-241 und Sm-151, für die eine Anwesenheit nicht völlig ausgeschlossen werden kann, eine Quantifizierung auf Grundlage der durchgeführten Recherchen und der erhaltenen Informationen jedoch nicht möglich ist. Die nur für den flüssigen Abfall angegebenen Radionuklide Eu-155, Pm-147 und Pu-238 sind Bestandteile des Radionuklidvektors von 1995. Sie sind abdeckend für die Altabfälle (flüssig) mit aufgenommen worden, obwohl keine Hinweise für ihr Vorhandensein in den damaligen festen und flüssigen Abfällen vorhanden waren.

Für die radioaktiven Abfälle aus dem ehemaligen ZfK Rossendorf ist das Radionuklidinventar abdeckend ermittelt und zum Aktivitätsinventar des ERAM ergänzend aufgenommen worden.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über das ermittelte Aktivitätsinventar der Abfälle aus dem ehemaligen ZfK Rossendorf. Diese Aktivitäten wurden im Weiteren für das Gesamtinventar des ERAM berücksichtigt.

Tab. 1: Zusammenfassung des Aktivitätsinventars der ZfK-Abfälle, Stand 07/1991 (k. A. - keine Angabe)

Radionuklid	Westfeld A, Bq	Abbau 1 A, Bq	4a-Sohle A, Bq	Abbau 2 A, Bq	Abbau 3 A, Bq	Gesamt A, Bq
C-14	1,9E+11	6,7E+11	1,3E+09	6,0E+10	7,2E+11	1,6E+12
Co-60	3,4E+11	6,5E+12	2,4E+09	4,7E+10	2,9E+11	7,2E+12
Cs-134	1,8E+10	4,0E+11	6,0E+07	k. A.	k. A.	4,2E+11
Cs-137	4,6E+11	5,6E+12	1,7E+09	1,6E+10	1,7E+11	6,2E+12
Eu-152	1,5E+09	k. A.	k. A.	1,0E+02	9,5E+02	1,5E+09
Eu-154	6,5E+08	k. A.	1,5E+08	k. A.	k. A.	8,0E+08
Eu-155	k. A.	k. A.	k. A.	1,1E+09	1,2E+10	1,3E+10
Fe-55	3,4E+11	7,2E+12	3,5E+09	2,4E+09	1,8E+10	7,5E+12
H-3	1,5E+11	8,6E+10	2,6E+07	4,3E+10	3,8E+11	6,7E+11
Kr-85	4,6E+09	2,4E+09	k. A.	k. A.	k. A.	7,0E+09
Mn-54	5,0E+09	7,4E+10	k. A.	k. A.	k. A.	7,9E+10
Na-22	k. A.	k. A.	k. A.	5,0E+05	1,6E+06	2,1E+06
Nb-95	5,7E+05	1,9E+06	k. A.	4,3E+06	2,3E+00	6,8E+06
Ni-63	1,3E+11	3,2E+12	1,3E+09	7,9E+08	9,1E+09	3,4E+12
Pu-239	5,5E+08	k. A.	k. A.	1,2E+07	1,4E+08	7,1E+08
Pu-240	1,5E+07	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	1,5E+07
Pu-241	2,9E+07	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	2,9E+07
Sm-151	3,8E+08	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	3,8E+08
Sr-90	4,6E+11	3,3E+12	1,7E+09	1,4E+10	1,5E+11	4,0E+12
U-234	6,0E+08	k. A.	k. A.	2,4E+07	2,8E+08	9,1E+08
U-235	4,7E+07	k. A.	k. A.	5,6E+05	6,7E+06	5,5E+07
U-238	2,6E+08	k. A.	k. A.	1,6E+06	1,9E+07	2,8E+08
Zr-95	1,7E+07	1,5E+08	k. A.	7,1E+07	2,5E+04	2,3E+08

2.3 URANINVENTAR IM WESTFELD

Vom VKTA Rossendorf (ehemals ZfK Rossendorf) wurde dem BfS eine Richtigstellung bezüglich der 1990 vom ZfK im Westfeld des ERAM eingelagerten uranhaltigen radioaktiven Abfälle mitgeteilt [9]. Anstelle der 1990 deklarierten U-235-Aktivität von 7E+07 Bq handelte es sich in Wirklichkeit um 17 kg natürliches Uran. Daher musste die Aktivität entsprechend der Zusammensetzung des Natururans in folgender Weise korrigiert werden:

U-234: 2,2E+08 Bq
 U-235: 9,8E+06 Bq
 U-238: 2,2E+08 Bq

2.4 RA-226-INVENTAR IM ABBAU 1 DES SÜDFELDES DES ERAM

Im Bereich des Südfeldes der 4. Sohle und darunter liegender Feldesteile traten seit Anfang der 80er Jahre z. T. erhebliche Rn-222-Konzentrationen in der Grubenluft auf. Dieses Problem wurde vermutlich durch die Einlagerung radiumhaltiger Abfälle aus der ehemaligen Außenstelle des SAAS Lohmen verursacht.

Hinsichtlich der Entstehung von Rn-222 sind Ra-226-haltigen Materialien aus der Herstellung und Verwendung von Leuchtstoffröhren zu nennen. In diesem Zusammenhang wurden größere Mengen von Leuchtstoffröhren als radioaktiver Abfall von der Außenstelle des SAAS Lohmen angenommen. Quantitative Angaben zu den Ra-226-Aktivitäten waren bei diesen Abfällen nicht gemacht worden. Deshalb liegt insgesamt für diese Abfälle keine Aussage über die Größenordnung der Ra-226-Aktivität vor. Bei Auflösung der Außenstelle des SAAS Lohmen im Jahr 1983 wurden die in Lohmen lagernden radioaktiven Abfälle in das Endlager Morsleben überführt. Nachdem im ERAM nach der Einlagerung der Abfälle aus Lohmen ein Ansteigen der Rn-222-Konzentration gemessen wurde, erfolgte die gesonderte Deklaration der radiumhaltigen Abfälle vor dem Transport in das Endlager. Die Einlagerung erfolgte in einem separaten, durch spätere (1983) Abmauerung abgetrennten Teil des Westfeldes. Die Aktivität der dort eingelagerten Abfälle wurde im ERAPROT beim Ra-226-Inventar des Westfeldes berücksichtigt. Der Verstoß derartiger Abfälle in den Abbau 1 des Südfeldes wurde eingestellt.

Die im ERAM vorgenommene computergestützte Protokollierung der endgelagerten radioaktiven Abfälle (ERAPROT) weist für den Bereich des Südfeldes lediglich ein Ra-226-Inventar von $1,7E+08$ Bq für den Abbau 2 aus. Da Messungen der Radonluftkonzentrationen aber vor allem im Abbau 1 hohe Werte lieferten, lag die Vermutung nahe, dass im Abbau 1 lagerndes Ra-226 die Ursache für die hohen Radonkonzentrationen sein könnte. Zur Ermittlung des Ra-226-Inventars wurden daher 1993/94 Untersuchungen im Abbau 1 durchgeführt und vom TÜV Nord ausgewertet [10]. Diese Untersuchungen, die jedoch mit Unsicherheiten behaftet sind, ergaben ein Ra-226-Inventar im Abbau 1 von 5,5 bis 11 GBq. Als abdeckend wird eine Aktivität von 11 GBq aufgenommen.

2.5 H-3-INVENTAR IM ERAM

Im Zeitraum vom 14.11.-27.12.1983 fand im ERAM ein großtechnischer Versuch zur Einlagerung von tritiumhaltigen wässrigen Abfällen mit Aktivitätskonzentrationen > 4 GBq/m³ statt (HTO-Wässer). Diese HTO-Wässer wurden im Rahmen der Auslagerung radioaktiver Abfälle aus der Außenstelle des SAAS in Lohmen in den Abbau 3 (Südfeld) des ERAM überführt. Insgesamt wurden 30,7 m³ HTO-Wässer mit einer Gesamtaktivität von etwa $4,26E+11$ Bq H-3 und 80,7 m³ EDR_{II} in den Abbau 3 eingebracht. Die Angaben zur Aktivitätskonzentration wurden den Transportdokumenten aus Lohmen entnommen. Die angegebenen Aktivitätswerte beziehen sich auf den Zeitpunkt 11/83. Der Versuch einschließlich der Auswertung wurde in der Anlage 2 der Dokumentation zur Erteilung der Strahlenschutzgenehmigung gemäß § 6 der Kernanlagenehmigungsanordnung (KGAO) - Zustimmung zur Inbetriebnahme des ERAM für die Teiltechnologie „Transport und Verfestigung flüssiger radioaktiver Abfälle“ - Erarbeitung einer wissenschaftlich-technischen Lösung für die Einlagerung flüssiger, wässriger radioaktiver Abfälle mit hohem Tritium-Gehalt - beschrieben.

Im ERAPROT (hier: Aufstellungen zum Aktivitätsbestand im ERAM [19]) wurde für den Abbau 3 im Jahr 1983 die Einlagerung von 41,7 m³ flüssigen Abfällen aus dem Bereich der APR (ohne ZfK Rossendorf) mit einer H-3-Aktivität von 14 GBq (Erfassungsaktivität) dokumentiert. Abfälle aus Lohmen wurden im ERAPROT als APR-Abfälle registriert. Die im Rahmen des Versuches eingelagerten Tritium-Wässer aus Lohmen wurden demnach im ERAPROT zwar berücksichtigt, jedoch wurde die geschätzte Aktivität von ca. 15 GBq aus den Unterlagen von Lohmen übernommen.

Für den Abbau 3 wird eine Korrektur für die Aktivität von H-3 gegenüber dem ERAPROT vorgenommen. Die Aktivität wird wie im ERAPROT auf den 01.07.1991 bezogen. Es werden zusätzlich $2,7E+11$ Bq zur bereits aufgeführten H-3-Aktivität aufgenommen.

Um die Aussage über die Tritium-Ableitung aus den Endlagerbereichen des Nordfeldes zu überprüfen, wurde eine Bestimmung der aus der 4. Sohle im Nordfeld abgeleiteten Wettermenge vorgenommen. Bei einer mittleren Tritiumkonzentration von 320 Bq/m^3 wurde eine Tritiumableitung von 25 GBq/a bestimmt. Dieser Wert wurde als abdeckend gegenüber früheren Messungen betrachtet. Daraus wurde ein H-3-Inventar zum 01.01.2000 von $1,5 \text{ E}+12 \text{ Bq}$ berechnet. Das bisher deklarierte H-3-Inventar im Nordfeld wurde um den Faktor 100 auf $2,4\text{E}+12 \text{ Bq}$ erhöht, bezogen auf den 01.07.1991.

2.6 CO-60-INVENTAR AUF DER 4A-SOHLLE DES ZENTRALTEILS

Im März 1989 wurden auf der 4a-Sohle des Zentralteils 4 Strahlerköpfe mit Co-60-Strahlenquellen endgelagert. Es wurde eine Gesamtaktivität von $5,1\text{E}+13 \text{ Bq}$ angegeben. Diese Aktivität von $5,1\text{E}+13 \text{ Bq}$ wurde bereits in einem SAAS-Schreiben vom 21.11.1983 zur Übernahme der Strahlenquellen vom SAAS Lohmen zum ERAM [11] und im Schreiben des ERAM an die NVA Storkow [12] aufgeführt. Infolgedessen muss die Co-60-Aktivität aktualisiert werden. Für 1991 wird eine Co-60-Aktivität von $1,9\text{E}+13 \text{ Bq}$ angegeben.

3 ERGÄNZUNG DER ABFALLDATEN FÜR KKW-ABFÄLLE

Hauptabfalllieferer für das Endlager Morsleben waren in der ehemaligen DDR vor allem in den letzten Jahren die Kernkraftwerke Greifswald (KGR) und Rheinsberg (KKR). Ihr Anteil an den endgelagerten Abfällen betrug ca. 80% des Volumens wie auch der Aktivität, weshalb KKW-Abfälle als repräsentativ für das ERAM anzusehen sind (s. Abb. 1 und 2).

Für die in Morsleben eingelagerten KKW-Abfälle wurden im Folgenden als relevante Abfallströme

- Eindampfrückstände, flüssig (EDR_{fl}),
- Eindampfrückstände, fest (EDR_{st}) und
- feste Mischabfälle

betrachtet.

Im Jahr 1992 wurden von Siemens KWU, Bereich Energieerzeugung [13] im Auftrag des KGR und parallel von der Produktkontrollstelle des BfS [14] radiochemische Analysen an Verdampferkonzentraten aus dem KKW Greifswald durchgeführt. Die Ergebnisse dieser radiochemischen Analysen waren Grundlage für die Bestimmung des Radionuklidinventars der im ERAM in den Jahren 1994 bis 1996 eingelagerten Abfälle aus dem KGR und KKR. Aus den Abfalldokumentationen dieser Abfalllieferer wurden Mittelwerte berechnet. Anhand der auf diese Weise ermittelten radionuklidspezifischen Aktivitätskonzentrationen wurden Rückrechnungen zum Radionuklidinventar der bis 1991 eingelagerten flüssigen und festen Verdampferkonzentrate sowie der im ERAM gestapelten Mischabfälle vorgenommen. Die von den Hauptabfalllieferern angegebenen und im ERAPROT dokumentierten Aktivitäten wurden um die deklarationspflichtigen sowie weitere Radionuklide in den KKW-Abfällen ergänzt. Diese Vorgehensweise ist dadurch gerechtfertigt, dass die ab 1994 eingelagerten Verdampferkonzentrate aus dem KGR noch aus dem Betrieb des KGR bis 1991 stammen. Für Mischabfälle wurden Mittelwerte aus insgesamt 5800 Abfallgebinden der KKW Greifswald und Rheinsberg ermittelt. Auch diese Mischabfälle stammen noch aus dem Betrieb, da beide KKW seit 1990 abgeschaltet sind.

Gemäß den für die Annahme radioaktiver Abfälle im ERAM geltenden Endlagerungsbedingungen von 1996 [15] sind folgende Radionuklide deklarationspflichtig:

Am-241, Am-243, Cf-249, Cf-251, Cf-252, Cf-254, Cm-244, Cm-245, Cm-246, Cm-247, Cm-248, Cm-250, Np-237, Pa-231, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Pu-244, Ra-224, Ra-226, Th-228, Th-229, Th-230, Th-232, U-232, U-233, U-234, U-235, U-236, U-238,

Ac-227, Ac-228, Ag-108m, Al-26, Am-242m, C-14, Ca-41, Cd-113m, Cl-36, Co-60, Cs-135, Cs-137, Eu-152, H-3, Ho-166m, I-125, I-129, K-40, Mo-93, Na-22, Nb-94, Ni-59, Ni-63, Np-236, Pb-210, Pd-107, Pu-241, Ra-228, Rb-87, Se-79, Sm-151, Sn-126, Sr-90, Tc-99, Zr-93,

Für die betrachteten Abfallströme aus den KKW Greifswald und Rheinsberg sind bestimmte Radionuklide nicht relevant, d. h. ihre Aktivität im Gebinde ist kleiner als 1 Bq. Sie werden daher im weiteren nicht betrachtet. Das betrifft die folgenden Radionuklide:

Cf-254, Cm-247, Cm-248, Cm-250, Pa-231, Pu-244, Ra-226, Th-230, Th-232, Al-26, I-125, Pb-210, Ra-228, Ac-227, Ac-228, Np-236.

Andere Radionuklide wurden von den Abfallverursachern KGR und KKR wegen der bis dahin geltenden Übergangsregelungen zur Einführung der fortgeschriebenen Endlagerungsbedingungen und rechentechnischer Umstellungen erst seit dem September 1997 in den Datenblättern aufgeführt. Diese Radionuklide konnten nicht mehr in die Auswertung einbezogen werden. Dennoch wurde geprüft, inwiefern diese Radionuklide in den danach eingelagerten Abfällen auftraten. Es wurde festgestellt, dass diese Radionuklide nur in einigen wenigen Gebinden nachgewiesen werden konnten. Es handelt sich dabei um

Cf-249, Cf-251, Cf-252, Ho-166m sowie um K-40.

Folgende weitere Radionuklide waren nach den vorhergehenden Endlagerungsbedingungen [15a] von September 1993 deklarationspflichtig und sind deshalb in den Abfalldatenblättern angegeben worden:

Ba-133, Cs-134, Eu-154, Eu-155, Fe-55, Mn-54, Nb-95, Zr-95.

Diese Radionuklide wurden ebenfalls für die Ergänzung des Radionuklidinventars herangezogen.

Somit werden im vorliegenden Bericht für die folgenden deklarationspflichtigen und weiteren Radionuklide die Aktivitäten für KKW-Abfällen ermittelt:

Am-241, Am-243, Cm-244, Cm-245, Cm-246, Np-237, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Ra-224, Th-228, Th-229, U-232, U-233, U-234, U-235, U-236, U-238,

Ag-108m, Am-242m, Ba-133, C-14, Ca-41, Cd-113m, Cl-36, Co-60, Cs-134, Cs-135, Cs-137, Eu-152, Eu-154, Eu-155, Fe-55, H-3, I-129, Mn-54, Mo-93, Na-22, Nb-94, Nb-95, Ni-59, Ni-63, Pd-107, Pu-241, Rb-87, Se-79, Sm-151, Sn-126, Sr-90, Tc-99, Zr-93, Zr-95.

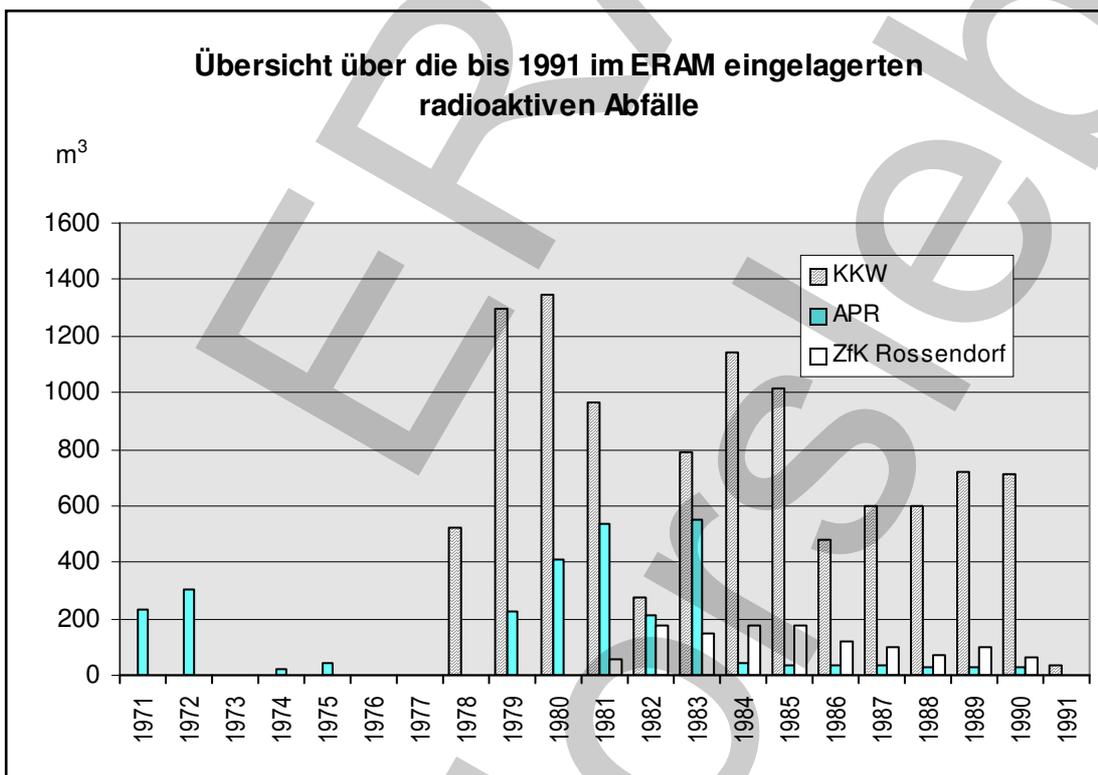


Abb. 1: Übersicht über die bis 1991 im ERAM eingelagerten radioaktiven Abfälle

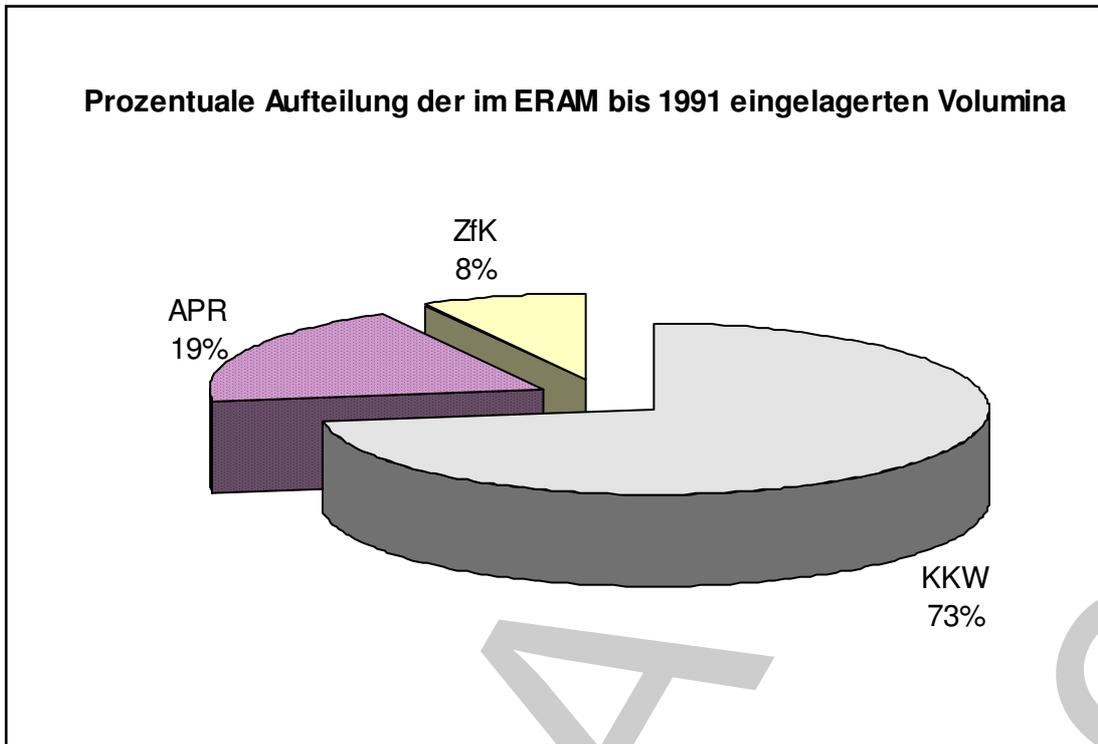


Abb. 2: Prozentuale Aufteilung der im ERAM bis 1991 eingelagerten Volumina

3.1 AKTIVITÄTSBESTIMMUNGEN DURCH DIE KKW

Im Folgenden wird die Abfalldokumentation für die entsprechenden Abfallströme der KKW Greifswald und Rheinsberg erläutert, die für die Ergänzung des Radionuklidinventars im ERAM verwendet wird. Die Erstellung der Abfalldokumentation für EDR (Verdampferkonzentrate) und Mischabfälle erfolgt in den KKW Greifswald und Rheinsberg mit Hilfe des Programms AVK-ELA. Die Aktivitätsinventare von schwer messbaren Radionukliden werden auf Grund von Korrelationsbeziehungen zu gut messbaren Schlüsselnucliden bestimmt (Schlüsselnuclidkonzept). Dabei werden KGR-spezifische Radionuklidverhältnisse verwendet. Die Berechnung der Aktivität der Schlüsselnuclide erfolgt aus der Dosisleistung in 1 m Abstand vom Abfallgebinde (z. B. 200-l-Fass). Co-60 und Cs-137 tragen den größten Anteil zur Dosisleistung bei. Das Verhältnis der beiden Radionuklide schwankt in Abhängigkeit vom Abfallstrom. Die Aktivitätsberechnung für Co-60 und Cs-137 folgt aus dem für den entsprechenden Abfallstrom betrachteten Verhältnis mit dem AVK-Rechenmodul ELA. Des Weiteren ist die Korrelation der Gesamtaktivität der Alpha-Strahler zum Schlüsselnuclid Co-60 für die Bestimmung der Aktivität von Alpha-Strahlern von Bedeutung. Sie wird der Verdampferkonzentratanalyse der Fa. Siemens KWU [13] entnommen und beträgt etwa $\text{Alpha-Aktivität/Co-60} = 2 \cdot 10^{-5}$. Erfahrungen bei der Messung von Mischabfällen zeigten, dass dieses Verhältnis bei Mischabfällen um den Faktor 10 höher sein kann, so dass für Mischabfälle ein Verhältnis $\text{Alpha-Aktivität/Co-60}$ von $2 \cdot 10^{-4}$ festgelegt wird. Die Aktivität von Co-60, Cs-137 und Gesamt-Alpha-Aktivität wird zur Bestimmung weiterer Radionuklide herangezogen. Die Aktivität dieser Radionuklide wird mit Hilfe von Standardkorrelationen, Aktivierungs- und Abbrandrechnungen (Rechenprogramm OREST) oder über Zerfallsreihen bestimmt [18]. Die Messwerte für Verdampferkonzentrate [13] gehen dabei in die Berechnungen ein. Einige der zu deklarierenden Radionuklide haben keinen festen Bezug zu einem der Schlüsselnuclide. So erfolgt die Berechnung der Aktivität für H-3, C-14 und Cl-36 über ihren Bezug zur Restfeuchte im Abfallgebinde.

Das Schlüsselnuclidkonzept basiert auf der mittlerweile auch international anerkannten Methode der mathematischen Korrelation zwischen den gut messbaren Schlüsselnucliden und zu bestimmenden Leitnucliden. Generell wird an ein Schlüsselnuclid die Forderung gestellt, dass man seine Aktivität im radioaktiven Abfall

gut, d. h. mit relativ geringem Aufwand und geringen Fehlern bestimmen kann. Aufgrund dessen werden die Radionuklide Co-60 und Cs-137 als Schlüsselnuklide verwendet. Entsprechend dem Entstehungsprozess wird dabei das Korrosionsprodukt Co-60 für die Korrosionsprodukte und das Spaltprodukt Cs-137 für die Spaltprodukte verwendet. Dieses Verfahren beruht auf einer breiten internationalen Datenbasis und kann daher als gut abgesichert gelten. Es wurde unabhängig davon vom TÜV Bayern begutachtet und seine Anwendbarkeit bestätigt.

Um die Anwendbarkeit des Schlüsselnuklidkonzeptes und des AVK insgesamt auf die bislang eingelagerten und zukünftig zur Einlagerung kommenden Abfälle aus Kernkraftwerken mit WWER-Reaktoren zu überprüfen, wurden repräsentative Messungen an entsprechenden Abfällen vorgenommen. Diese wurden 1992 von Siemens KWU [13] durchgeführt und von der Produktkontrollstelle des BfS bestätigt [14]. Die Messungen brachten das Ergebnis, dass „... die bei den Untersuchungen gefundenen Aktivitätskonzentrationen in der Bandbreite der bei bisherigen Untersuchungen von Verdampferkonzentrationen aus KWU-Anlagen (Druckwasserreaktoren-DWR) gefundenen Werte liegen“ (Arbeitsbericht KWU S 531/92/28 vom 19.02.1992, [13]). In Tab. 2 wird dieses anhand von gut messbaren Radionukliden verdeutlicht.

Tab. 2: Vergleich der Aktivitätskonzentrationen (AK) ausgewählter, gut messbarer Radionuklide nach Siemens KWU und vergleichbarer Messwerte aus KWU-DWR-Anlagen [13]

Radionuklid	VDK-KGR nach Siemens KWU	VDK- in KWU-DWR
	AK in Bq/g	AK in Bq/g
Co-60	4,1E+03	1,1E+02 bis 6,5E+04
Fe-55	6,4E+03	1,5E+02 bis 2,5E+04
Ni-63	1,4E+03	1,6E+02 bis 1,1E+04
Cs-137	6,3E+03	<1,0E+00 bis 9,5E+04
Sr-90	4,4E-01	2,2E-01 bis 1,9E+01

Im Rahmen der Produktkontrolle für Abfälle aus dem KKW Greifswald, die im ERAM eingelagert wurden, kam der TÜV als unabhängiger Gutachter des BfS ebenfalls zu einer positiven Einschätzung des Korrelationsverfahrens auf der Grundlage aller vorliegenden Daten von Leichtwasserreaktoren.

3.2 FESTE EINDAMPFRÜCKSTÄNDE

Feste Eindampfrückstände wurden nur aus dem Bereich der Kernkraftwerke im ERAM eingelagert. Für die folgenden Radionuklide, von denen die meisten relevant für die Langzeitsicherheit sind, wurden die Aktivitätsinventare in den im ERAM eingelagerten festen Eindampfrückständen ermittelt:

Am-241, Am-243, Cm-244, Cm-245, Cm-246, Np-237, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Ra-224, Th-228, U-232, U-234, U-235, U-236, U-238,

Ag-108m, Am-242m, Ba-133, C-14, Ca-41, Cd-113m, Cl-36, Co-60, Cs-134, Cs-135, Cs-137, Eu-152, Eu-154, Eu-155, Fe-55, H-3, I-129, Mn-54, Mo-93, Na-22, Nb-94, Nb-95, Ni-59, Ni-63, Pd-107, Pu-241, Rb-87, Se-79, Sm-151, Sn-126, Sr-90, Tc-99, Zr-93, Zr-95.

(Die Radionuklide Th-229 und U-233 wurden in den Abfalldatenblättern des KGR für EDR_{st} nicht angegeben.)

Für die genannten Radionuklide wurden Angaben aus den Abfalldatenblättern für 274 Abfallgebinde mit festen Eindampfrückständen des KKW Greifswald verwendet. Die Radionuklide C-14, Cl-36, I-129 und Tc-99 wurden in flüssigen Eindampfrückständen von Siemens KWU [13] gemessen und sind als Eingangsdaten in das AVK eingegangen. Sie spiegeln sich in diesen Abfalldatenblättern wieder. Aus einer größeren Anzahl (274) von Abfallgebinden wurden für die weiteren Betrachtungen Mittelwerte verwendet. Die Anwendung von Mittelwerten aus Abfalldokumentationen für Verdampferkonzentrate, die im Zeitraum vom 13.01.1994 bis zum 30.09.1996 im ERAM eingelagert bzw. freigegeben wurden, auf solche Abfälle, die bis 1991 ins ERAM verbracht worden sind, ist dadurch gerechtfertigt, dass es sich dabei um gleichartige Abfälle handelt. Im Vergleich zu heute sind die bis 1991 eingelagerten radioaktiven Abfälle aufgrund anderer Anforderungen an die Dokumentation unzureichend deklariert worden. Grundlage war die TGL 190-921/01, wonach nur sehr allgemeine Anforderungen an die Deklaration von Radionuklidinventaren bestanden. Die seit 1994 eingelagerten Abfälle stammen größtenteils noch aus dem Betrieb des KGR und des KKR, die seit 1990 abgeschaltet sind. Ferner haben sich die Konditionierungsbedingungen der flüssige Eindampfrückstände (EDR_{fl}) zu EDR_{st} nicht verändert. Unter Berücksichtigung eines Volumenreduktionsfaktors von 5 [16] wurden die entsprechenden radionuklidspezifischen volumenbezogenen Aktivitätskonzentrationen für EDR_{st} ermittelt.

Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der von Siemens KWU durchgeführten Analysen mit Messwerten aus dem Probetrieb der Rotationsdünnschichtverdampferanlage (RDVA) des KGR aus dem Jahr 1988 [16] in Tabelle 9 zeigt eine gute Übereinstimmung. Eine Übertragbarkeit der Analysenergebnisse aus dem Jahr 1992 auf die von 1988 bis 1991 eingelagerten EDR_{st} ist daher gerechtfertigt.

Tab. 3: Vergleich von Messwerten gut messbarer Radionuklide in EDR_{st}

Radionuklid	Messwerte aus Probetrieb RDVA 1988 in Bq/g	Messwerte von Siemens KWU 1992 in Bq/g
$\Sigma\gamma$	5,2E+04 (4...6E+04)	7,0E+04
Co-60	1,6E+04	2,1E+04
Cs-134	1,0E+04	1,6E+04
Cs-137	1,5E+04	3,2E+04
Co-58	1,3E+03	1,0E+03
Mn-54	1,1E+04	6,5E+03

In Tabelle 4 sind die Mittelwerte für die radionuklidspezifischen Aktivitätskonzentrationen aus Abfalldatenblättern für 274 Abfallgebinde (200-l-Fässer bzw. PC 84) mit festen Verdampferkonzentraten (EDR_{st}) dargestellt. Die mittleren Aktivitätskonzentrationen wurden aus den Summen der radionuklidspezifischen Aktivitäten berechnet, die in den Abfalldatenblättern vom KGR für die von 1994 bis 1996 im ERAM endgelagerten und zur Endlagerung freigegebenen Abfallgebinde angegeben wurden. Das zugrunde gelegte Volumen für die 274 Abfallgebinde betrug $57,55 \text{ m}^3$.

Tab. 4: Mittelwerte der Aktivitätskonzentrationen [AK] aus den Abfalldatenblättern für feste Verdampferkonzentrate des KGR

Radionuklid	mittl. AK in Bq/m ³	Radionuklid	mittl. AK in Bq/m ³
Am-241	5,5E+04	Cs-135	7,6E+04
Am-243	2,0E+02	Cs-137	1,5E+10
Cm-244	7,1E+03	Eu-152	1,6E+04
Cm-245	3,7E+00	Eu-154	7,5E+06
Cm-246	6,3E-01	Eu-155	1,7E+06
Np-237	6,6E+02	Fe-55	1,0E+10
Pu-239	8,7E+03	H-3	6,0E+07
Pu-240	1,6E+04	I-129	3,0E+03
Pu-242	8,3E+01	Mn-54	6,4E+08
Ra-224	2,8E+01	Mo-93	2,6E+04
Th-228	3,1E+01	Na-22	1,8E+07
U-232	4,5E+01	Nb-94	3,1E+06
U-234	1,7E+03	Nb-95	1,7E+06
U-235	2,6E+01	Ni-59	2,9E+07
U-236	3,9E+02	Ni-63	3,2E+09
U-238	7,2E+02	Pd-107	4,8E+03
Ag-108m	1,2E+06	Pu-241	2,8E+07
Am-242m	3,7E+02	Rb-87	1,4E+00
Ba-133	1,3E+02	Se-79	4,4E+04
C-14	4,4E+07	Sm-151	1,4E+06
Ca-41	8,9E+03	Sn-126	2,4E+04
Cd-113m	2,5E+06	Sr-90	9,7E+05
Cl-36	2,6E+05	Tc-99	1,8E+07
Co-60	7,6E+09	Zr-93	1,2E+06
Cs-134	3,4E+09	Zr-95	7,8E+05

3.2.1 Einlagerungsbereiche

Feste Eindampfrückstände des KKW Greifswald wurden im ERAM in den Abbauen 1 und 2 eingelagert. Die eingelagerten Abfallvolumina verteilen sich wie folgt auf die Abbaue des Südfeldes:

Abbau 1:	369 m ³
Abbau 2:	79 m ³

3.2.2 Jährliche Einlagerung

Das eingelagerte Volumen lässt sich weiterhin auf die Jahre 1988 bis 1991 aufschlüsseln.

Tab. 5: Eingelagerte EDR_{st} - Volumina in den Abbauen 1 und 2 des Südfeldes

JAHR	ABBAU 1	ABBAU 2
1988	62,7 m ³	47,2 m ³
1989	127,1 m ³	22,2 m ³
1990	162,3 m ³	0 m ³
1991	16,8 m ³	9,2 m ³

Die Tabellen 6 und 7 enthalten unter Berücksichtigung der Mittelwerte in Tabelle 4 die jährlich eingelagerten radionuklidspezifischen Aktivitäten für EDR_{st} in den Abbauen 1 und 2 des Südfeldes des ERAM.

Tab. 6: Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivitäten für EDR_{st} im Abbau 1, A in Bq

Radio nuklid	EDR _{st} AK in Bq/m ³	ABBAU 1			
		1988 62,7 m ³	1989 127,1 m ³	1990 162,3 m ³	1991 16,8 m ³
Am-241	5,5E+04	3,5E+06	7,0E+06	8,9E+06	9,2E+05
Am-243	2,0E+02	1,2E+04	2,5E+04	3,2E+04	3,3E+03
Cm-244	7,1E+03	4,4E+05	9,0E+05	1,2E+06	1,2E+05
Cm-245	3,7E+00	2,3E+02	4,7E+02	6,1E+02	6,3E+01
Cm-246	6,3E-01	3,9E+01	8,0E+01	1,0E+02	1,1E+01
Np-237	6,6E+02	4,1E+04	8,4E+04	1,1E+05	1,1E+04
Pu-239	8,7E+03	5,4E+05	1,1E+06	1,4E+06	1,5E+05
Pu-240	1,6E+04	1,0E+06	2,0E+06	2,6E+06	2,7E+05
Pu-242	8,3E+01	5,2E+03	1,1E+04	1,3E+04	1,4E+03
Ra-224	2,8E+01	1,7E+03	3,5E+03	4,5E+03	4,7E+02
Th-228	3,1E+01	2,0E+03	4,0E+03	5,1E+03	5,2E+02
U-232	4,5E+01	2,8E+03	5,7E+03	7,3E+03	7,6E+02
U-234	1,7E+03	1,1E+05	2,2E+05	2,8E+05	2,9E+04
U-235	2,6E+01	1,6E+03	3,3E+03	4,3E+03	4,4E+02
U-236	3,9E+02	2,5E+04	5,0E+04	6,4E+04	6,6E+03
U-238	7,2E+02	4,5E+04	9,2E+04	1,2E+05	1,2E+04
Ag-108m	1,2E+06	7,7E+07	1,6E+08	2,0E+08	2,1E+07
Am-242m	3,7E+02	2,3E+04	4,7E+04	6,0E+04	6,2E+03
Ba-133	1,3E+02	7,9E+03	1,6E+04	2,0E+04	2,1E+03
C-14	4,4E+07	2,7E+09	5,5E+09	7,1E+09	7,3E+08
Ca-41	8,9E+03	5,6E+05	1,1E+06	1,5E+06	1,5E+05
Cd-113m	2,5E+06	1,6E+08	3,2E+08	4,0E+08	4,2E+07
Cl-36	2,6E+05	1,6E+07	3,3E+07	4,3E+07	4,4E+06
Co-60	7,6E+09	4,8E+11	9,7E+11	1,2E+12	1,3E+11
Cs-134	3,4E+09	2,1E+11	4,3E+11	5,5E+11	5,7E+10
Cs-135	7,6E+04	4,8E+06	9,6E+06	1,2E+07	1,3E+06
Cs-137	1,5E+10	9,6E+11	1,9E+12	2,5E+12	2,6E+11
Eu-152	1,6E+04	1,0E+06	2,1E+06	2,6E+06	2,7E+05
Eu-154	7,5E+06	4,7E+08	9,6E+08	1,2E+09	1,3E+08
Eu-155	1,7E+06	1,1E+08	2,2E+08	2,8E+08	2,9E+07
Fe-55	1,0E+10	6,6E+11	1,3E+12	1,7E+12	1,8E+11
H-3	6,0E+07	3,8E+09	7,7E+09	9,8E+09	1,0E+09
I-129	3,0E+03	1,9E+05	3,8E+05	4,8E+05	5,0E+04
Mn-54	6,4E+08	4,0E+10	8,1E+10	1,0E+11	1,1E+10
Mo-93	2,6E+04	1,6E+06	3,3E+06	4,2E+06	4,4E+05
Na-22	1,8E+07	1,1E+09	2,3E+09	2,9E+09	3,0E+08
Nb-94	3,1E+06	2,0E+08	4,0E+08	5,1E+08	5,2E+07
Nb-95	1,7E+06	1,1E+08	2,2E+08	2,8E+08	2,9E+07
Ni-59	2,9E+07	1,8E+09	3,7E+09	4,7E+09	4,9E+08
Ni-63	3,2E+09	2,0E+11	4,0E+11	5,2E+11	5,3E+10
Pd-107	4,8E+03	3,0E+05	6,1E+05	7,8E+05	8,1E+04
Pu-241	2,8E+07	1,7E+09	3,5E+09	4,5E+09	4,7E+08
Rb-87	1,4E+00	9,0E+01	1,8E+02	2,3E+02	2,4E+01
Se-79	4,4E+04	2,8E+06	5,6E+06	7,1E+06	7,4E+05
Sm-151	1,4E+06	8,7E+07	1,8E+08	2,3E+08	2,3E+07
Sn-126	2,4E+04	1,5E+06	3,0E+06	3,9E+06	4,0E+05
Sr-90	9,7E+05	6,1E+07	1,2E+08	1,6E+08	1,6E+07
Tc-99	1,8E+07	1,1E+09	2,3E+09	2,9E+09	3,0E+08
Zr-93	1,2E+06	7,4E+07	1,5E+08	1,9E+08	2,0E+07
Zr-95	7,8E+05	4,9E+07	9,9E+07	1,3E+08	1,3E+07

Tab. 7: Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivitäten für EDR_{st} im Abbau 2

Radio-nuklid	EDR _{st} AK in Bq/m ³	ABBAU 2		
		1988 eingel. A für 47,2 m ³ in Bq	1989 eingel. A für 22,2 m ³ in Bq	1991 eingel. A für 9,2 m ³ in Bq
Am-241	5,5E+04	2,6E+06	1,2E+06	5,1E+05
Am-243	2,0E+02	9,3E+03	4,4E+03	1,8E+03
Cm-244	7,1E+03	3,3E+05	1,6E+05	6,5E+04
Cm-245	3,7E+00	1,8E+02	8,3E+01	3,4E+01
Cm-246	6,3E-01	3,0E+01	1,4E+01	5,8E+00
Np-237	6,6E+02	3,1E+04	1,5E+04	6,1E+03
Pu-239	8,7E+03	4,1E+05	1,9E+05	8,0E+04
Pu-240	1,6E+04	7,6E+05	3,6E+05	1,5E+05
Pu-242	8,3E+01	3,9E+03	1,8E+03	7,6E+02
Ra-224	2,8E+01	1,3E+03	6,2E+02	2,6E+02
Th-228	3,1E+01	1,5E+03	6,9E+02	2,9E+02
U-232	4,5E+01	2,1E+03	1,0E+03	4,1E+02
U-234	1,7E+03	8,1E+04	3,8E+04	1,6E+04
U-235	2,6E+01	1,2E+03	5,8E+02	2,4E+02
U-236	3,9E+02	1,9E+04	8,8E+03	3,6E+03
U-238	7,2E+02	3,4E+04	1,6E+04	6,6E+03
Ag-108m	1,2E+06	5,8E+07	2,7E+07	1,1E+07
Am-242m	3,7E+02	1,7E+04	8,2E+03	3,4E+03
Ba-133	1,3E+02	5,9E+03	2,8E+03	1,2E+03
C-14	4,4E+07	2,1E+09	9,7E+08	4,0E+08
Ca-41	8,9E+03	4,2E+05	2,0E+05	8,2E+04
Cd-113m	2,5E+06	1,2E+08	5,5E+07	2,3E+07
Cl-36	2,6E+05	1,2E+07	5,8E+06	2,4E+06
Co-60	7,6E+09	3,6E+11	1,7E+11	7,0E+10
Cs-134	3,4E+09	1,6E+11	7,5E+10	3,1E+10
Cs-135	7,6E+04	3,6E+06	1,7E+06	7,0E+05
Cs-137	1,5E+10	7,2E+11	3,4E+11	1,4E+11
Eu-152	1,6E+04	7,7E+05	3,6E+05	1,5E+05
Eu-154	7,5E+06	3,6E+08	1,7E+08	6,9E+07
Eu-155	1,7E+06	8,0E+07	3,8E+07	1,6E+07
Fe-55	1,0E+10	4,9E+11	2,3E+11	9,6E+10
H-3	6,0E+07	2,9E+09	1,3E+09	5,6E+08
I-125	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
I-129	3,0E+03	1,4E+05	6,6E+04	2,7E+04
Mn-54	6,4E+08	3,0E+10	1,4E+10	5,8E+09
Mo-93	2,6E+04	1,2E+06	5,8E+05	2,4E+05
Na-22	1,8E+07	8,4E+08	4,0E+08	1,6E+08
Nb-94	3,1E+06	1,5E+08	6,9E+07	2,9E+07
Nb-95	1,7E+06	8,1E+07	3,8E+07	1,6E+07
Ni-59	2,9E+07	1,4E+09	6,5E+08	2,7E+08
Ni-63	3,2E+09	1,5E+11	7,1E+10	2,9E+10
Pd-107	4,8E+03	2,3E+05	1,1E+05	4,4E+04
Pu-241	2,8E+07	1,3E+09	6,2E+08	2,6E+08
Rb-87	1,4E+00	6,8E+01	3,2E+01	1,3E+01
Se-79	4,4E+04	2,1E+06	9,8E+05	4,0E+05
Sm-151	1,4E+06	6,6E+07	3,1E+07	1,3E+07
Sn-126	2,4E+04	1,1E+06	5,3E+05	2,2E+05
Sr-90	9,7E+05	4,6E+07	2,2E+07	8,9E+06
Tc-99	1,8E+07	8,5E+08	4,0E+08	1,7E+08
Zr-93	1,2E+06	5,6E+07	2,6E+07	1,1E+07
Zr-95	7,8E+05	3,7E+07	1,7E+07	7,1E+06

3.2.3 Radionuklidspezifische Aktivitätsinhalte der EDR_{st} im ERAM

Die ermittelten radionuklidspezifischen Aktivitäten der EDR_{st} (Tab. 6 und 7) werden im Folgenden auf das Jahr 1991 bezogen. Die Bildung von Tochterrädonukliden wird aber ebenso wie im ERAPROT nicht berücksichtigt. Damit ergeben sich für diese beiden Abbaue durch die Endlagerung der festen Eindampfrückstände folgende Radionuklidinventare:

Tab. 8: Radionuklidspezifische Aktivitätsinhalte der EDR_{st} in den betreffenden Einlagerungsbereichen

Radio-nuklid	EDR _{st}	Abbau 1	Abbau 2	Summe
	AK in Bq/m ³	A in 1991, in Bq	A in 1991, in Bq	A in Bq
Am-241	5,5E+04	2,3E+07	4,3E+06	2,7E+07
Am-243	2,0E+02	8,0E+04	1,5E+04	9,6E+04
Cm-244	7,1E+03	2,8E+06	5,6E+05	3,3E+06
Cm-245	3,7E+00	1,5E+03	2,9E+02	1,8E+03
Cm-246	6,3E-01	2,6E+02	4,9E+01	3,1E+02
Np-237	6,6E+02	2,8E+05	5,2E+04	3,3E+05
Pu-239	8,7E+03	3,5E+06	6,8E+05	4,2E+06
Pu-240	1,6E+04	6,6E+06	1,3E+06	7,8E+06
Pu-242	8,3E+01	3,5E+04	6,5E+03	4,2E+04
Ra-224	2,8E+01	4,7E+02	2,6E+02	7,3E+02
Th-228	3,1E+01	7,3E+03	1,1E+03	8,4E+03
U-232	4,5E+01	1,9E+04	3,5E+03	2,2E+04
U-234	1,7E+03	7,1E+05	1,4E+05	8,4E+05
U-235	2,6E+01	1,1E+04	2,1E+03	1,3E+04
U-236	3,9E+02	1,6E+05	3,1E+04	1,9E+05
U-238	7,2E+02	3,0E+05	5,7E+04	3,6E+05
Ag-108m	1,2E+06	5,0E+08	9,6E+07	6,0E+08
Am-242m	3,7E+02	1,5E+05	2,8E+04	1,8E+05
Ba-133	1,3E+02	4,5E+04	8,6E+03	5,4E+04
C-14	4,4E+07	1,8E+10	3,5E+09	2,1E+10
Ca-41	8,9E+03	3,7E+06	7,0E+05	4,4E+06
Cd-113m	2,5E+06	9,5E+08	1,7E+08	1,1E+09
Cl-36	2,6E+05	1,1E+08	2,0E+07	1,3E+08
Co-60	7,6E+09	2,5E+12	4,5E+11	2,9E+12
Cs-134	3,4E+09	8,2E+11	1,3E+11	9,5E+11
Cs-135	7,6E+04	3,1E+07	6,0E+06	3,7E+07
Cs-137	1,5E+10	6,0E+12	1,1E+12	7,1E+12
Eu-152	1,6E+04	6,1E+06	1,1E+06	7,2E+06
Eu-154	7,5E+06	2,7E+09	5,0E+08	3,2E+09
Eu-155	1,7E+06	5,6E+08	9,8E+07	6,6E+08
Fe-55	1,0E+10	2,9E+12	4,8E+11	3,3E+12
H-3	6,0E+07	2,3E+10	4,3E+09	2,7E+10
I-129	3,0E+03	1,2E+06	2,3E+05	1,5E+06
Mn-54	6,4E+08	8,1E+10	3,9E+10	1,2E+11
Mo-93	2,6E+04	1,1E+07	2,0E+06	1,3E+07
Na-22	1,8E+07	4,9E+09	9,0E+08	5,8E+09
Nb-94	3,1E+06	1,3E+09	2,5E+08	1,5E+09
Nb-95	1,7E+06	2,9E+07	1,6E+07	4,5E+07
Ni-59	2,9E+07	1,2E+10	2,3E+09	1,4E+10
Ni-63	3,2E+09	1,3E+12	2,5E+11	1,6E+12
Pd-107	4,8E+03	2,0E+06	3,8E+05	2,4E+06
Pu-241	2,8E+07	1,1E+10	1,9E+09	1,3E+10
Rb-87	1,4E+00	5,9E+02	1,1E+02	7,1E+02
Se-79	4,4E+04	1,8E+07	3,5E+06	2,2E+07
Sm-151	1,4E+06	5,6E+08	1,1E+08	6,7E+08
Sn-126	2,4E+04	9,9E+06	1,9E+06	1,2E+07
Sr-90	9,7E+05	3,9E+08	7,3E+07	4,6E+08
Tc-99	1,8E+07	7,4E+09	1,4E+09	8,8E+09
Zr-93	1,2E+06	4,9E+08	9,3E+07	5,8E+08
Zr-95	7,8E+05	1,6E+07	7,2E+06	2,3E+07

3.3 FLÜSSIGE EINDAMPFRÜCKSTÄNDE

Für die im ERAM eingelagerten flüssigen Eindampfrückstände (EDR_{fl}) wird ebenfalls eine Ergänzung der im ERAPROT [5] angegebenen radionuklidspezifischen Aktivitäten vorgenommen. Die flüssigen Eindampfrückstände nehmen mit einem Volumen von 7597 m^3 ca. 50% des bis 1991 insgesamt eingelagerten Volumens ein. Flüssige Abfälle wurden darüber hinaus auch aus dem Bereich der Anwendung und Produktion von Radionukliden (APR), insbesondere aus dem ehemaligen ZfK Rossendorf, dem SAAS Lohmen und dem ZfI Berlin-Buch, als flüssige wässrige Abfälle angenommen und eingelagert. Das Volumen dieser flüssigen wässrigen Abfälle ist mit ca. 8% des Gesamtvolumens und der Aktivitätsanteil mit nur ca. 4% der Gesamtaktivität an flüssigen Abfällen jedoch vernachlässigbar gering. Die Zusammensetzung der flüssigen Eindampfrückstände aus dem KKW Greifswald und dem KKW Rheinsberg unterscheidet sich nicht wesentlich. Das Volumen der aus dem KKW Rheinsberg eingelagerten EDR_{fl} beträgt nur ca. 8% von dem aller EDR_{fl} . Auch die Aktivität der aus dem KKW Rheinsberg eingelagerten EDR_{fl} ist deutlich niedriger als die der EDR_{fl} aus dem KKW Greifswald. Damit sind die Angaben zu den EDR_{fl} aus dem KKW Greifswald abdeckend für alle EDR_{fl} .

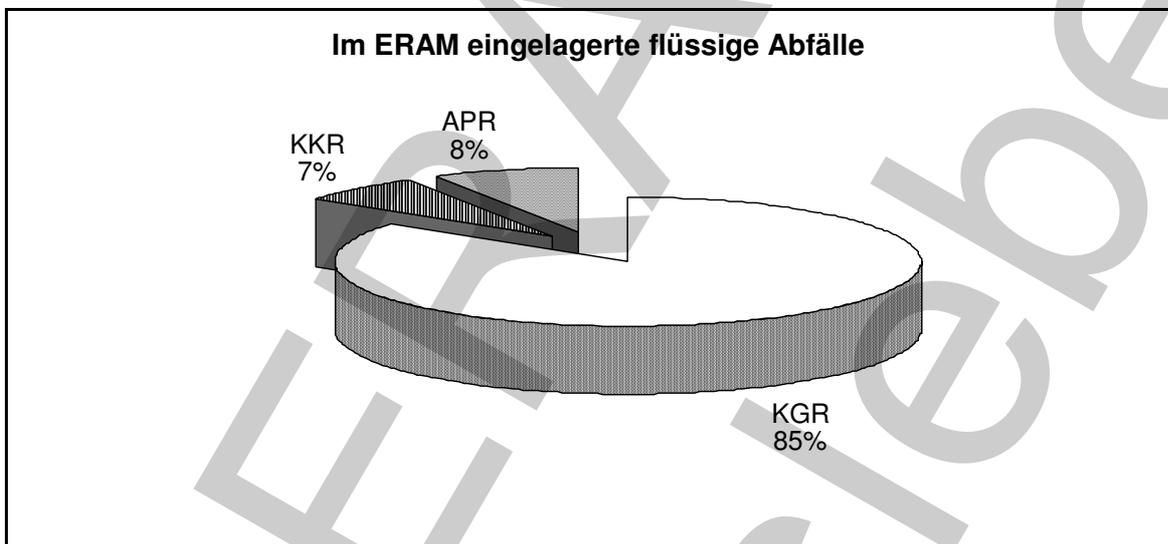


Abb.3: Prozentuale Aufteilung des Volumens der im ERAM bis 1991 eingelagerten flüssigen Abfälle

In Tab. 9 sind die mittleren Aktivitätskonzentrationen in EDR_{fl} der relevanten Radionuklide (s. Kap. 3.2) aus den Abfalldokumentationen des KKW Greifswald zu festen Verdampferkonzentrationen (EDR_{st}), die in den Jahren 1994 bis 1996 im ERAM eingelagert wurden, aufgeführt. Die mittleren Aktivitätskonzentrationen wurden ebenfalls aus den Summen der radionuklidspezifischen Aktivitäten berechnet, die in den Abfalldatenblättern vom KGR für die von 1994 bis 1996 im ERAM endgelagerten und zur Endlagerung freigegebenen Abfallgebinde angegeben wurden. Das zugrunde gelegte Volumen für die 274 Abfallgebinde betrug $57,55 \text{ m}^3$. Für die Umrechnung in EDR_{fl} wurde der in [16] ermittelte Faktor von 5 verwendet.

Tab. 9: Mittelwerte der Aktivitätskonzentrationen aus den Abfalldatenblättern des KKW Greifswald, umgerechnet auf flüssige Verdampferkonzentrate (EDR_{fl})

Radio-nuklid	mittl. AK EDR_{fl} in Bq/m^3	Radio-nuklid	mittl. AK EDR_{fl} in Bq/m^3
Am-241	1,1E+04	Cs-135	1,5E+04
Am-243	3,9E+01	Cs-137	3,1E+09
Cm-244	1,4E+03	Eu-152	3,2E+03
Cm-245	7,5E-01	Eu-154	1,5E+06
Cm-246	1,3E-01	Eu-155	3,4E+05
Np-237	1,3E+02	Fe-55	2,1E+09
Pu-239	1,7E+03	H-3	1,2E+07
Pu-240	3,2E+03	I-129	6,0E+02
Pu-242	1,7E+01	Mn-54	1,3E+08
Ra-224	5,6E+00	Mo-93	5,2E+03
Th-228	6,2E+00	Na-22	3,6E+06
U-232	9,0E+00	Nb-94	6,2E+05
U-234	3,5E+02	Nb-95	3,5E+05
U-235	5,2E+00	Ni-59	5,8E+06
U-236	7,9E+01	Ni-63	6,4E+08
U-238	1,4E+02	Pd-107	9,6E+02
Ag-108m	2,5E+05	Pu-241	5,6E+06
Am-242m	7,4E+01	Rb-87	2,9E-01
Ba-133	2,5E+01	Se-79	8,8E+03
C-14	8,7E+06	Sm-151	2,8E+05
Ca-41	1,8E+03	Sn-126	4,8E+03
Cd-113m	5,0E+05	Sr-90	1,9E+05
Cl-36	5,2E+04	Tc-99	3,6E+06
Co-60	1,5E+09	Zr-93	2,4E+05
Cs-134	6,8E+08	Zr-95	1,6E+05

3.3.1 Einlagerungsbereiche und jährliche Einlagerung

Flüssige Eindampfrückstände aus den KKW Greifswald und Rheinsberg wurden hauptsächlich in den Abbauen 2 und 3 des Südfeldes im ERAM eingelagert. Daneben wurde 1984 eine Menge von 24 m³ in der Nordstrecke eingelagert. Sowohl das eingelagerte Volumen als auch die eingelagerte Aktivität werden auf die einzelnen Einlagerungsbereiche und Jahre aufgeschlüsselt. Tabelle 10 gibt eine Übersicht über die jährlich eingelagerten EDR_{fl} -Volumina.

Tab. 10: Jährlich eingelagerte Abfallvolumina EDR_{fi}

Jahr	Eingelagertes Volumen im Abbau 2 [m ³]	Eingelagertes Volumen im Abbau 3 [m ³]	Eingelagertes Volumen in der Nordstrecke [m ³]
1978		522,1	
1979		1115,6	
1980		1220,3	
1981		732,0	
1982		103,2	
1983		631,2	
1984		984,6	24,0
1985		845,8	
1986		259,2	
1987		459,6	
1988	136,0	134,0	
1989	225,6		
1990	204,0		
Summe:	565,6	7007,6	24,0

Die Tabellen 11 und 12 geben eine Übersicht über die jährlich eingelagerten radionuklidspezifischen Aktivitäten.

Tab. 11: Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivitäten für EDRfl im Abbau 2

Radio-nuklid	mittl. AK EDR _{fl} : in Bq/m ³	1988 eingel. A für 136 m ³ in Bq	1989 eingel. A für 225,6 m ³ in Bq	1990 eingel. A für 204 m ³ in Bq
Am-241	1,1E+04	1,5E+06	2,5E+06	2,2E+06
Am-243	3,9E+01	5,4E+03	8,9E+03	8,0E+03
Cm-244	1,4E+03	1,9E+05	3,2E+05	2,9E+05
Cm-245	7,5E-01	1,0E+02	1,7E+02	1,5E+02
Cm-246	1,3E-01	1,7E+01	2,8E+01	2,6E+01
Np-237	1,3E+02	1,8E+04	3,0E+04	2,7E+04
Pu-239	1,7E+03	2,4E+05	3,9E+05	3,5E+05
Pu-240	3,2E+03	4,4E+05	7,3E+05	6,6E+05
Pu-242	1,7E+01	2,3E+03	3,7E+03	3,4E+03
Ra-224	5,6E+00	7,6E+02	1,3E+03	1,1E+03
Th-228	6,2E+00	8,5E+02	1,4E+03	1,3E+03
U-232	9,0E+00	1,2E+03	2,0E+03	1,8E+03
U-234	3,5E+02	4,7E+04	7,8E+04	7,0E+04
U-235	5,2E+00	7,1E+02	1,2E+03	1,1E+03
U-236	7,9E+01	1,1E+04	1,8E+04	1,6E+04
U-238	1,4E+02	2,0E+04	3,3E+04	2,9E+04
Ag-108m	2,5E+05	3,3E+07	5,5E+07	5,0E+07
Am-242m	7,4E+01	1,0E+04	1,7E+04	1,5E+04
Ba-133	2,5E+01	3,4E+03	5,7E+03	5,1E+03
C-14	8,7E+06	1,2E+09	2,0E+09	1,8E+09
Ca-41	1,8E+03	2,4E+05	4,0E+05	3,6E+05
Cd-113m	5,0E+05	6,8E+07	1,1E+08	1,0E+08
Cl-36	5,2E+04	7,1E+06	1,2E+07	1,1E+07
Co-60	1,5E+09	2,1E+11	3,4E+11	3,1E+11
Cs-134	6,8E+08	9,2E+10	1,5E+11	1,4E+11
Cs-135	1,5E+04	2,1E+06	3,4E+06	3,1E+06
Cs-137	3,1E+09	4,2E+11	6,9E+11	6,2E+11
Eu-152	3,2E+03	4,4E+05	7,3E+05	6,6E+05
Eu-154	1,5E+06	2,1E+08	3,4E+08	3,1E+08
Eu-155	3,4E+05	4,6E+07	7,7E+07	7,0E+07
Fe-55	2,1E+09	2,8E+11	4,7E+11	4,3E+11
H-3	1,2E+07	1,6E+09	2,7E+09	2,5E+09
I-129	6,0E+02	8,1E+04	1,3E+05	1,2E+05
Mn-54	1,3E+08	1,7E+10	2,9E+10	2,6E+10
Mo-93	5,2E+03	7,0E+05	1,2E+06	1,1E+06
Na-22	3,6E+06	4,9E+08	8,1E+08	7,3E+08
Nb-94	6,2E+05	8,5E+07	1,4E+08	1,3E+08
Nb-95	3,5E+05	4,7E+07	7,8E+07	7,0E+07
Ni-59	5,8E+06	8,0E+08	1,3E+09	1,2E+09
Ni-63	6,4E+08	8,7E+10	1,4E+11	1,3E+11
Pd-107	9,6E+02	1,3E+05	2,2E+05	2,0E+05
Pu-241	5,6E+06	7,6E+08	1,3E+09	1,1E+09
Rb-87	2,9E-01	3,9E+01	6,5E+01	5,9E+01
Se-79	8,8E+03	1,2E+06	2,0E+06	1,8E+06
Sm-151	2,8E+05	3,8E+07	6,3E+07	5,7E+07
Sn-126	4,8E+03	6,5E+05	1,1E+06	9,8E+05
Sr-90	1,9E+05	2,6E+07	4,4E+07	4,0E+07
Tc-99	3,6E+06	4,9E+08	8,1E+08	7,3E+08
Zr-93	2,4E+05	3,2E+07	5,3E+07	4,8E+07
Zr-95	1,6E+05	2,1E+07	3,5E+07	3,2E+07

Tab. 12: Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivität für EDRfl im Abbau 3, A in Bq

Radio-nuklid	1978 522,1 m ³	1979 1115,6 m ³	1980 1220,3 m ³	1981 732 m ³	1982 103,2 m ³	1983 631,2 m ³	1984 984,6 m ³	1985 845,8 m ³	1986 259,2 m ³	1987 459,6 m ³	1988 134 m ³
Am-241	5,7E+06	1,2E+07	1,3E+07	8,1E+06	1,1E+06	6,9E+06	1,1E+07	9,3E+06	2,9E+06	5,1E+06	1,5E+06
Am-243	2,1E+04	4,4E+04	4,8E+04	2,9E+04	4,1E+03	2,5E+04	3,9E+04	3,3E+04	1,0E+04	1,8E+04	5,3E+03
Cm-244	7,4E+05	1,6E+06	1,7E+06	1,0E+06	1,5E+05	8,9E+05	1,4E+06	1,2E+06	3,7E+05	6,5E+05	1,9E+05
Cm-245	3,9E+02	8,3E+02	9,1E+02	5,5E+02	7,7E+01	4,7E+02	7,4E+02	6,3E+02	1,9E+02	3,4E+02	1,0E+02
Cm-246	6,5E+01	1,4E+02	1,5E+02	9,2E+01	1,3E+01	7,9E+01	1,2E+02	1,1E+02	3,2E+01	5,8E+01	1,7E+01
Np-237	6,9E+04	1,5E+05	1,6E+05	9,7E+04	1,4E+04	8,3E+04	1,3E+05	1,1E+05	3,4E+04	6,1E+04	1,8E+04
Pu-239	9,0E+05	1,9E+06	2,1E+06	1,3E+06	1,8E+05	1,1E+06	1,7E+06	1,5E+06	4,5E+05	8,0E+05	2,3E+05
Pu-240	1,7E+06	3,6E+06	3,9E+06	2,4E+06	3,3E+05	2,0E+06	3,2E+06	2,7E+06	8,3E+05	1,5E+06	4,3E+05
Pu-242	8,7E+03	1,8E+04	2,0E+04	1,2E+04	1,7E+03	1,0E+04	1,6E+04	1,4E+04	4,3E+03	7,6E+03	2,2E+03
Ra-224	2,9E+03	6,2E+03	6,8E+03	4,1E+03	5,7E+02	3,5E+03	5,5E+03	4,7E+03	1,4E+03	2,6E+03	7,4E+02
Th-228	3,3E+03	7,0E+03	7,6E+03	4,6E+03	6,4E+02	3,9E+03	6,2E+03	5,3E+03	1,6E+03	2,9E+03	8,4E+02
U-232	4,7E+03	1,0E+04	1,1E+04	6,6E+03	9,3E+02	5,7E+03	8,9E+03	7,6E+03	2,3E+03	4,1E+03	1,2E+03
U-234	1,8E+05	3,8E+05	4,2E+05	2,5E+05	3,6E+04	2,2E+05	3,4E+05	2,9E+05	8,9E+04	1,6E+05	4,6E+04
U-235	2,7E+03	5,9E+03	6,4E+03	3,8E+03	5,4E+02	3,3E+03	5,2E+03	4,4E+03	1,4E+03	2,4E+03	7,0E+02
U-236	4,1E+04	8,8E+04	9,6E+04	5,8E+04	8,1E+03	5,0E+04	7,8E+04	6,7E+04	2,0E+04	3,6E+04	1,1E+04
U-238	7,5E+04	1,6E+05	1,8E+05	1,1E+05	1,5E+04	9,1E+04	1,4E+05	1,2E+05	3,7E+04	6,6E+04	1,9E+04
Ag-108m	1,3E+08	2,7E+08	3,0E+08	1,8E+08	2,5E+07	1,5E+08	2,4E+08	2,1E+08	6,4E+07	1,1E+08	3,3E+07
Am-242m	3,8E+04	8,2E+04	9,0E+04	5,4E+04	7,6E+03	4,6E+04	7,3E+04	6,2E+04	1,9E+04	3,4E+04	9,9E+03
Ba-133	1,3E+04	2,8E+04	3,1E+04	1,8E+04	2,6E+03	1,6E+04	2,5E+04	2,1E+04	6,5E+03	1,2E+04	3,4E+03
C-14	4,6E+09	9,7E+09	1,1E+10	6,4E+09	9,0E+08	5,5E+09	8,6E+09	7,4E+09	2,3E+09	4,0E+09	1,2E+09
Ca-41	9,3E+05	2,0E+06	2,2E+06	1,3E+06	1,8E+05	1,1E+06	1,8E+06	1,5E+06	4,6E+05	8,2E+05	2,4E+05
Cd-113m	2,6E+08	5,6E+08	6,1E+08	3,7E+08	5,1E+07	3,1E+08	4,9E+08	4,2E+08	1,3E+08	2,3E+08	6,7E+07
Cl-36	2,7E+07	5,8E+07	6,4E+07	3,8E+07	5,4E+06	3,3E+07	5,2E+07	4,4E+07	1,4E+07	2,4E+07	7,0E+06
Co-60	8,0E+11	1,7E+12	1,9E+12	1,1E+12	1,6E+11	9,6E+11	1,5E+12	1,3E+12	4,0E+11	7,0E+11	2,0E+11
Cs-134	3,5E+11	7,6E+11	8,3E+11	5,0E+11	7,0E+10	4,3E+11	6,7E+11	5,7E+11	1,8E+11	3,1E+11	9,1E+10
Cs-135	7,9E+06	1,7E+07	1,9E+07	1,1E+07	1,6E+06	9,6E+06	1,5E+07	1,3E+07	3,9E+06	7,0E+06	2,0E+06
Cs-137	1,6E+12	3,4E+12	3,7E+12	2,2E+12	3,2E+11	1,9E+12	3,0E+12	2,6E+12	7,9E+11	1,4E+12	4,1E+11
Eu-152	1,7E+06	3,6E+06	4,0E+06	2,4E+06	3,3E+05	2,0E+06	3,2E+06	2,7E+06	8,4E+05	1,5E+06	4,3E+05
Eu-154	7,9E+08	1,7E+09	1,8E+09	1,1E+09	1,6E+08	9,5E+08	1,5E+09	1,3E+09	3,9E+08	6,9E+08	2,0E+08
Eu-155	1,8E+08	3,8E+08	4,2E+08	2,5E+08	3,5E+07	2,2E+08	3,4E+08	2,9E+08	8,8E+07	1,6E+08	4,6E+07
Fe-55	1,1E+12	2,3E+12	2,6E+12	1,5E+12	2,2E+11	1,3E+12	2,1E+12	1,8E+12	5,4E+11	9,6E+11	2,8E+11
H-3	6,3E+09	1,3E+10	1,5E+10	8,8E+09	1,2E+09	7,6E+09	1,2E+10	1,0E+10	3,1E+09	5,6E+09	1,6E+09

Tab. 12 (Fortsetzung): Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivität für EDR_{fl} im Abbau 3, A in Bq

Radio-nuklid	1978 522,1 m ³	1979 1115,6 m ³	1980 1220,3 m ³	1981 732 m ³	1982 103,2 m ³	1983 631,2 m ³	1984 984,6 m ³	1985 845,8 m ³	1986 259,2 m ³	1987 459,6 m ³	1988 134 m ³
I-129	3,1E+05	6,7E+05	7,3E+05	4,4E+05	6,1E+04	3,8E+05	5,9E+05	5,0E+05	1,5E+05	2,7E+05	8,0E+04
Mn-54	6,6E+10	1,4E+11	1,6E+11	9,3E+10	1,3E+10	8,0E+10	1,3E+11	1,1E+11	3,3E+10	5,8E+10	1,7E+10
Mo-93	2,7E+06	5,8E+06	6,3E+06	3,8E+06	5,3E+05	3,3E+06	5,1E+06	4,4E+06	1,3E+06	2,4E+06	6,9E+05
Na-22	1,9E+09	4,0E+09	4,4E+09	2,6E+09	3,7E+08	2,3E+09	3,5E+09	3,0E+09	9,3E+08	1,6E+09	4,8E+08
Nb-94	3,2E+08	6,9E+08	7,6E+08	4,6E+08	6,4E+07	3,9E+08	6,1E+08	5,3E+08	1,6E+08	2,9E+08	8,3E+07
Nb-95	1,8E+08	3,9E+08	4,2E+08	2,5E+08	3,6E+07	2,2E+08	3,4E+08	2,9E+08	8,9E+07	1,6E+08	4,6E+07
Ni-59	3,1E+09	6,5E+09	7,1E+09	4,3E+09	6,0E+08	3,7E+09	5,8E+09	4,9E+09	1,5E+09	2,7E+09	7,8E+08
Ni-63	3,3E+11	7,1E+11	7,8E+11	4,7E+11	6,6E+10	4,0E+11	6,3E+11	5,4E+11	1,6E+11	2,9E+11	8,5E+10
Pd-107	5,0E+05	1,1E+06	1,2E+06	7,0E+05	9,9E+04	6,1E+05	9,5E+05	8,1E+05	2,5E+05	4,4E+05	1,3E+05
Pu-241	2,9E+09	6,2E+09	6,8E+09	4,1E+09	5,7E+08	3,5E+09	5,5E+09	4,7E+09	1,4E+09	2,6E+09	7,5E+08
Rb-87	1,5E+02	3,2E+02	3,5E+02	2,1E+02	3,0E+01	1,8E+02	2,8E+02	2,4E+02	7,5E+01	1,3E+02	3,9E+01
Se-79	4,6E+06	9,8E+06	1,1E+07	6,4E+06	9,1E+05	5,5E+06	8,7E+06	7,4E+06	2,3E+06	4,0E+06	1,2E+06
Sm-151	1,4E+08	3,1E+08	3,4E+08	2,0E+08	2,9E+07	1,8E+08	2,7E+08	2,3E+08	7,2E+07	1,3E+08	3,7E+07
Sn-126	2,5E+06	5,3E+06	5,8E+06	3,5E+06	4,9E+05	3,0E+06	4,7E+06	4,0E+06	1,2E+06	2,2E+06	6,4E+05
Sr-90	1,0E+08	2,2E+08	2,4E+08	1,4E+08	2,0E+07	1,2E+08	1,9E+08	1,6E+08	5,0E+07	8,9E+07	2,6E+07
Tc-99	1,9E+09	4,0E+09	4,4E+09	2,6E+09	3,7E+08	2,3E+09	3,5E+09	3,0E+09	9,3E+08	1,7E+09	4,8E+08
Zr-93	1,2E+08	2,6E+08	2,9E+08	1,7E+08	2,4E+07	1,5E+08	2,3E+08	2,0E+08	6,1E+07	1,1E+08	3,2E+07
Zr-95	8,1E+07	1,7E+08	1,9E+08	1,1E+08	1,6E+07	9,8E+07	1,5E+08	1,3E+08	4,0E+07	7,1E+07	2,1E+07

3.3.2 Radionuklidspezifische Aktivitätsinhalte der EDR_{fl} im ERAM

Für das Gesamtvolumen der eingelagerten flüssigen Eindampfrückstände (EDR_{fl}) ergibt sich folgendes Radionuklidinventar (bezogen auf den 01.07.1991) im ERAM:

Tab. 13: Radionuklidspezifische Aktivitäten für EDR_{fl} im ERAM

Radio-nuklid	mittl. AK EDR _{fl} in Bq/m ³	Abbau 2 A in Bq	Abbau 3 A in Bq	Nordstrecke A in Bq	Summe A in Bq
Am-241	1,1E+04	6,2E+06	7,7E+07	2,6E+05	8,4E+07
Am-243	3,9E+01	2,2E+04	2,8E+05	9,5E+02	3,0E+05
Cm-244	1,4E+03	8,0E+05	9,9E+06	3,4E+04	1,1E+07
Cm-245	7,5E-01	4,2E+02	5,2E+03	1,8E+01	5,7E+03
Cm-246	1,3E-01	7,1E+01	8,8E+02	3,0E+00	9,5E+02
Np-237	1,3E+02	7,5E+04	9,3E+05	3,2E+03	1,0E+06
Pu-239	1,7E+03	9,8E+05	1,2E+07	4,2E+04	1,3E+07
Pu-240	3,2E+03	1,8E+06	2,3E+07	7,7E+04	2,4E+07
Pu-242	1,7E+01	9,4E+03	1,2E+05	4,0E+02	1,3E+05
Ra-224	5,6E+00	0	0	0	0
Th-228	6,2E+00	1,9E+03	2,9E+03	1,2E+02	4,9E+03
U-232	9,0E+00	5,1E+03	6,3E+04	2,2E+02	6,8E+04
U-234	3,5E+02	2,0E+05	2,4E+06	8,3E+03	2,6E+06
U-235	5,2E+00	3,0E+03	3,7E+04	1,3E+02	4,0E+04
U-236	7,9E+01	4,5E+04	5,5E+05	1,9E+03	6,0E+05
U-238	1,4E+02	8,2E+04	1,0E+06	3,5E+03	1,1E+06
Ag-108m	2,5E+05	1,4E+08	1,6E+09	5,7E+06	1,8E+09
Am-242m	7,4E+01	4,2E+04	5,0E+05	1,7E+03	5,4E+05
Ba-133	2,5E+01	1,3E+04	1,0E+05	3,8E+02	1,1E+05
C-14	8,7E+06	5,0E+09	6,2E+10	2,1E+08	6,7E+10
Ca-41	1,8E+03	1,0E+06	1,2E+07	4,3E+04	1,4E+07
Cd-113m	5,0E+05	2,5E+08	2,3E+09	8,4E+06	2,5E+09
Cl-36	5,2E+04	3,0E+07	3,7E+08	1,3E+06	4,0E+08
Co-60	1,5E+09	6,7E+11	3,5E+12	1,5E+10	4,2E+12
Cs-134	6,8E+08	2,1E+11	1,1E+12	1,5E+09	1,3E+12
Cs-135	1,5E+04	8,6E+06	1,1E+08	3,6E+05	1,2E+08
Cs-137	3,1E+09	1,7E+12	1,8E+13	6,2E+10	1,9E+13
Eu-152	3,2E+03	1,7E+06	1,4E+07	5,5E+04	1,6E+07
Eu-154	1,5E+06	7,5E+08	5,4E+09	2,1E+07	6,2E+09
Eu-155	3,4E+05	1,5E+08	7,6E+08	3,1E+06	9,1E+08
Fe-55	2,1E+09	7,4E+11	2,0E+12	8,3E+09	2,8E+12
H-3	1,2E+07	6,1E+09	5,1E+10	2,0E+08	5,8E+10
I-129	6,0E+02	3,4E+05	4,2E+06	1,4E+04	4,5E+06
Mn-54	1,3E+08	1,8E+10	2,3E+10	1,1E+07	4,1E+10
Mo-93	5,2E+03	3,0E+06	3,6E+07	1,2E+05	3,9E+07
Na-22	3,6E+06	1,3E+09	3,1E+09	1,3E+07	4,4E+09
Nb-94	6,2E+05	3,6E+08	4,4E+09	1,5E+07	4,7E+09
Nb-95	3,5E+05	5,1E+04	0	0	5,1E+04
Ni-59	5,8E+06	3,3E+09	4,1E+10	1,4E+08	4,4E+10
Ni-63	6,4E+08	3,6E+11	4,5E+12	1,5E+10	4,8E+12
Pd-107	9,6E+02	5,4E+05	6,7E+06	2,3E+04	7,3E+06
Pu-241	5,6E+06	2,9E+09	2,6E+10	9,3E+07	2,9E+10
Rb-87	2,9E-01	1,6E+02	2,0E+03	6,9E+00	2,2E+03
Se-79	8,8E+03	5,0E+06	6,2E+07	2,1E+05	6,7E+07
Sm-151	2,8E+05	1,6E+08	1,9E+09	6,7E+06	2,1E+09
Sn-126	4,8E+03	2,7E+06	3,4E+07	1,1E+05	3,6E+07
Sr-90	1,9E+05	1,1E+08	1,1E+09	4,0E+06	1,2E+09
Tc-99	3,6E+06	2,0E+09	2,5E+10	8,6E+07	2,7E+10
Zr-93	2,4E+05	1,3E+08	1,6E+09	5,7E+06	1,8E+09
Zr-95	1,6E+05	6,2E+05	1,5E+02	0	6,2E+05

3.4 FESTE MISCHABFÄLLE

Feste niedrigaktive Mischabfälle aus dem Bereich der KKW Greifswald und Rheinsberg wurden im Zeitraum 1979 bis 1991 in den Einlagerungsbereichen Westfeld 1, Nordfeld und in geringem Maße in der 4a-Sohle des Zentralteils eingelagert. Darüber hinaus wurden 1974/75 61 m³ niedrigaktive Abfälle aus dem KKW Rheinsberg im Westgesenk eingelagert. Es handelte sich hierbei um Isoliermaterial, das in Plastiksäcke verpackt und als sperriger Abfall deklariert wurde. Insgesamt wurden ca. 2382 m³ feste niedrigaktive Mischabfälle aus dem KKW-Bereich eingelagert. In diesem Abfallvolumen sind sowohl feste Abfälle in Fässern, als auch sperrige Abfälle und Filter enthalten. Daneben wurden feste mittelaktive Mischabfälle in den Abbau 1 des Südfeldes verstürzt. Der Anteil der mittelaktiven Abfälle am Volumen der KKW-Mischabfälle beträgt ca. 5%. Im Folgenden wird nur der Anteil niedrigaktiver Mischabfälle, die in den o. g. Einlagerungsbereichen eingelagert wurden, betrachtet.

Abb. 4 stellt den Anteil der niedrig- und mittelaktiven Mischabfälle aus dem KKW-Bereich gegenüber den Mischabfällen aus dem Bereich der Anwendung und Produktion von Radionukliden (APR) dar.

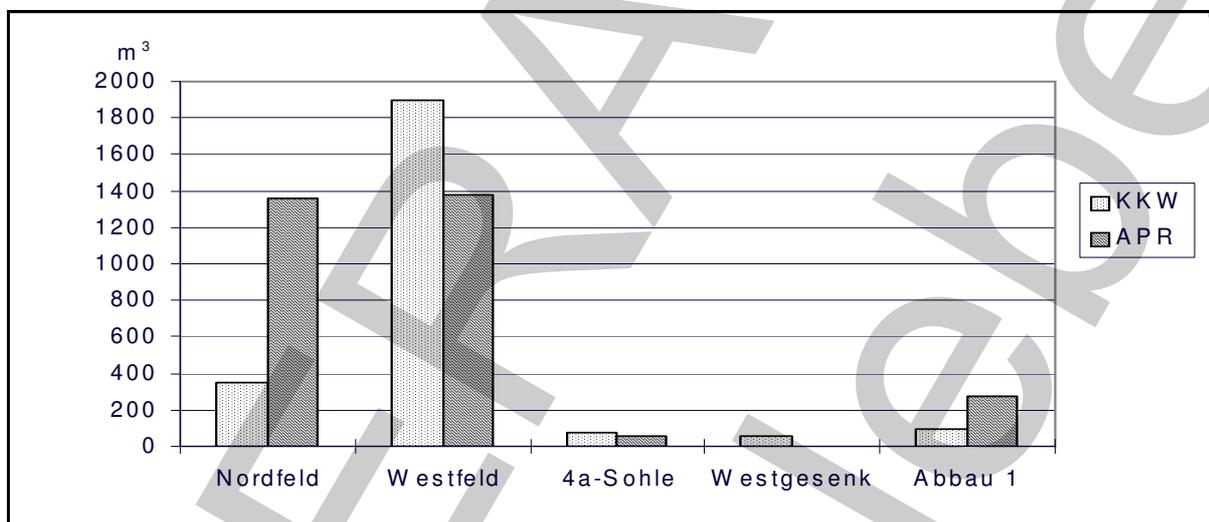


Abb. 4: Im ERAM eingelagerte Mischabfälle bezogen auf die Verursacherguppen KKW und APR

3.4.1 Vergleich fester Mischabfälle aus den KKW Greifswald und Rheinsberg

Um Rückschlüsse auf ein genaueres Radionuklidinventar der bis 1991 eingelagerten KKW-Mischabfälle ziehen zu können, wurden wiederum Vergleiche zu den seit 13.01.1994 im ERAM eingelagerten Abfällen des KKW Greifswald (KGR) und des KKW Rheinsberg (KKR) angestellt. Speziell kamen dafür Mischabfälle aus dem KGR der Konditionierungskampagnen nach Ablaufplan 4406 in Frage. Es handelt sich hierbei um 3230 Stück Abfallgebinde (= 646 m³) mit unverpressten Mischabfällen verschiedener Zusammensetzung, die typisch für radioaktive Abfälle aus dem Betrieb und aus Revisionen des KGR sind. Derartige Abfälle der Strahlenschutzgruppe S2 wurden bisher nicht eingelagert. Auch aus dem KKW Rheinsberg (KKR) wurden seit 1994 ebenfalls nur Mischabfälle der Strahlenschutzgruppe S1 eingelagert. Betrachtet wurden aus dem KKR 2570 Stück Abfallgebinde (= 514 m³) der Konditionierungskampagnen KKR044026, KKR044006 und KKR044R01. In diesen Kampagnen wurden wie bei den Mischabfällen aus dem KGR Abfallgebinde mit unverpressten Mischabfällen verschiedener Zusammensetzung hergestellt. Tab. 14 gibt einen Überblick über die Abfallbeschreibungen dieser Mischabfälle.

Tab. 14: Beschreibung von Mischabfällen aus dem KGR und dem KKR, die im Zeitraum 1994 bis 1996 im ERAM eingelagert wurden

BESCHREIBUNG VON MISCHABFÄLLEN AUS DEM KGR UND DEM KKR
Bauschutt, Holz, Textilien, Gips, Papier, Bretter, Kisten;
Isoliermaterial, Kunststoffe, PVC, Gummi, Filtermaterial, Filtermatten, Folie, Farbe;
Glaswolle, Kabel, Kamelit, Glas, Keramik, Erdreich, Schlacke;
Bleche, Vorrichtungen, Maschinenteile, Werkzeuge, Heizkörper, Wärmetauscher, Nadelrohre, Kranbahn, Induktionsofen, Kleinteile, Schränke, Drehkreuz, Lüfter, Kabelschrott, Waschmaschine, Stiftschrauben von Hauptabsperrschiebern (HAS), Regale, Hauptumwälzpumpen (HUP)-Reparaturbock, HAS-Rep.bühne, Schutz- und Steuer (SUS)-Antriebe, SUS-Lüfter, HUP-Lager und Lagergehäuse, metallische Abfälle, Schrott, unsortierter Abfall, sortierte Mischabfälle

Im Folgenden wurde davon ausgegangen, dass die mittleren Aktivitätskonzentrationen der 3230 Abfallgebände (= 646 m³) aus dem KGR sowie der 2570 Abfallgebände (= 514 m³) aus dem KKR, die im Zeitraum vom 13.01.1994 bis zum 30.09.1996 eingelagert bzw. freigegeben wurden, die bis 1991 eingelagerten Mischabfälle aus den KKW Greifswald und Rheinsberg hinreichend genau beschreiben. Für den Bezug auf die Abfälle, die bis 1991 aus den KKW eingelagert wurden, wurden Mittelwerte aus beiden KKW verwendet. In Tab. 15 werden die mittleren Aktivitätskonzentrationen für folgende deklarationspflichtige und weitere Radionuklide angegeben:

Am-241, Am-243, Cm-244, Cm-245, Np-237, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Ra-224, Th-228, Th-229, U-232, U-233, U-234, U-235, U-236, U-238,

Ag-108m, Am-242m, Ba-133, C-14, Ca-41, Cd-113m, Cl-36, Co-60, Cs-134, Cs-135, Cs-137, Eu-152, Eu-154, Eu-155, Fe-55, H-3, I-129, Mn-54, Mo-93, Na-22, Nb-94, Nb-95, Ni-59, Ni-63, Pd-107, Pu-241, Rb-87, Se-79, Sm-151, Sn-126, Sr-90, Tc-99, Zr-93, Zr-95.

(Das Radionuklid Cm-246, das in den EDR auftrat, wurde in den Abfalldatenblättern der KKW Greifswald und Rheinsberg für Mischabfälle nicht aufgeführt. Dagegen wurden die Radionuklide Th-229 und U-233 im Gegensatz zu den EDR angegeben.)

Tab. 15: Mittelwerte der Aktivitätskonzentrationen aus den Abfalldatenblättern für feste Mischabfälle des KGR und des KKR

Radionuklid	mittl. AK in Bq/m ³	Radionuklid	mittl. AK in Bq/m ³
Am-241	2,3E+05	Cs-135	2,4E+02
Am-243	1,0E+02	Cs-137	4,3E+07
Cm-244	9,1E+03	Eu-152	9,5E+06
Cm-245	2,4E+00	Eu-154	4,3E+06
Np-237	3,6E+02	Eu-155	9,2E+05
Pu-239	2,4E+04	Fe-55	9,9E+07
Pu-240	2,7E+04	H-3	2,2E+07
Pu-242	3,7E+02	I-129	1,9E+01
Ra-224	2,1E+01	Mn-54	3,0E+06
Th-228	2,2E+01	Mo-93	4,0E+03
Th-229	5,8E+01	Na-22	5,9E+05

Fortsetzung Tab. 15: Mittelwerte der Aktivitätskonzentrationen aus den Abfalldatenblättern für feste Mischabfälle des KGR und des KKR

Radionuklid	mittl. AK in Bq/m ³	Radionuklid	mittl. AK in Bq/m ³
U-232	2,2E+01	Nb-94	2,5E+05
U-233	5,8E+01	Nb-95	3,6E+05
U-234	8,6E+02	Ni-63	4,0E+07
U-235	1,1E+02	Ni-59	1,1E+06
U-236	2,1E+02	Pd-107	1,2E+01
U-238	3,9E+02	Pu-241	3,1E+06
Ag-108m	7,4E+06	Rb-87	3,4E+03
Am-242m	2,0E+03	Se-79	1,8E+02
Ba-133	3,2E+01	Sm-151	1,6E+06
C-14	6,4E+05	Sn-126	2,1E+03
Ca-41	6,8E+01	Sr-90	1,2E+07
Cd-113m	5,7E+05	Tc-99	1,7E+06
Cl-36	5,0E+04	Zr-93	7,8E+03
Co-60	8,2E+07	Zr-95	1,6E+05
Cs-134	3,7E+06		

3.4.2 Einlagerungsbereiche

Feste Mischabfälle wurden im ERAM im Westfeld 1, im Nordfeld und auf der 4a-Sohle des Zentralteils sowie im Westgesenk eingelagert. Die eingelagerten Abfallvolumina verteilen sich wie folgt auf die Einlagerungsbereiche:

Westfeld 1:	1895 m ³
Nordfeld:	347 m ³
4a-Sohle:	78,5 m ³
Westgesenk:	61 m ³

3.4.3 Jährliche Einlagerung

Das eingelagerte Volumen lässt sich weiterhin auf die Jahre 1979 bis 1991 aufschlüsseln. Aufgeführt wurde ebenfalls die Einlagerung in den Jahren 1974/75.

Tab. 16: Im ERAM bis 1991 eingelagerte feste Mischabfälle aus dem KKW-Bereich, V in m³

Jahr	Westfeld 1	Nordfeld	4a-Sohle	Westgesenk
1974/75				61
1979		184,2		
1980		125,6		
1981	174,2	36,8		
1982	161,9			
1983	157,4			
1984	133,0			
1985	154,1			
1986	200,2			
1987	107,8		21	
1988	197,0			
1989	283,0		44	
1990	315,2		13,5	
1991	11,2			

Die Tabellen 17, 18 und 19 geben einen Überblick über die jährlich eingelagerten radionuklidspezifischen Aktivitäten für Mischabfälle aus den KKW Greifswald und Rheinsberg in den entsprechenden Einlagerungsbereichen. Dabei wird vernachlässigt, dass auch Mischabfälle der Strahlenschutzgruppe S2 eingelagert wurden, wenn auch nur zu einem geringen Anteil. Wie oben bereits erwähnt, werden bei den nachfolgenden Betrachtungen ebenso Mischabfälle der Strahlenschutzgruppen S3 bis S5 nicht berücksichtigt. Da im Westgesenk nur Abfälle aus dem KKW Rheinsberg eingelagert wurden, werden in Tab. 16 die radionuklidspezifischen Aktivitäten auf der Grundlage der mittleren Aktivitätskonzentrationen für Mischabfälle aus dem KKR ermittelt.

Tab. 17: Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivitäten für Mischabfälle aus dem KKR im Westgesenk

Radio-nuklid	AK in Bq/m ³ (Mittelwert KKR)	Westgesenk, A in Bq 61 m ³	Radio-nuklid	AK in Bq/m ³ (Mittelwert KKR)	Westgesenk, A in Bq 61 m ³
Am-241	3,4E+05	2,1E+07	Cs-134	4,0E+06	2,4E+08
Am-243	1,5E+02	9,3E+03	Cs-135	2,1E+02	1,3E+04
Cm-244	1,3E+04	7,8E+05	Cs-137	3,3E+07	2,0E+09
Cm-245	3,8E+00	2,3E+02	Eu-152	1,9E+07	1,2E+09
Np-237	3,0E+02	1,8E+04	Eu-154	8,4E+06	5,1E+08
Pu-239	4,4E+04	2,7E+06	Eu-155	1,8E+06	1,1E+08
Pu-240	4,6E+04	2,8E+06	Fe-55	7,5E+07	4,6E+09
Pu-242	6,8E+02	4,1E+04	H-3	2,3E+07	1,4E+09
Ra-224	1,7E+01	1,1E+03	I-129	1,6E+01	9,9E+02
Th-228	1,7E+01	1,1E+03	Mn-54	1,1E+06	6,8E+07
Th-229	1,2E+02	7,1E+03	Mo-93	7,4E+03	4,5E+05
U-232	1,8E+01	1,1E+03	Na-22	5,0E+05	3,0E+07
U-233	1,2E+02	7,1E+03	Nb-94	3,5E+05	2,1E+07
U-234	6,4E+02	3,9E+04	Nb-95	8,0E+03	4,9E+05
U-235	2,0E+02	1,2E+04	Ni-63	2,1E+07	1,3E+09
U-236	1,8E+02	1,1E+04	Ni-59	8,2E+05	5,0E+07
U-238	3,3E+02	2,0E+04	Pd-107	1,2E+01	7,3E+02
Ag-108m	2,2E+05	1,3E+07	Pu-241	5,0E+06	3,1E+08
Am-242m	1,8E+03	1,1E+05	Se-79	1,5E+02	9,4E+03
Ba-133	5,7E+01	3,5E+03	Sm-151	3,1E+06	1,9E+08
C-14	5,6E+05	3,4E+07	Sn-126	3,0E+03	1,8E+05
Ca-41	5,8E+01	3,5E+03	Sr-90	2,4E+07	1,5E+09
Cd-113m	4,2E+05	2,5E+07	Tc-99	1,8E+06	1,1E+08
Cl-36	5,0E+04	3,1E+06	Zr-93	5,8E+03	3,5E+05
Co-60	5,8E+07	3,6E+09	Zr-95	3,6E+03	2,2E+05

Tab. 18: Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivitäten für KKW-Mischabfälle auf der 4a-Sohle des Zentralteils und im Nordfeld

Radio-nuklid	mittl. AK in Bq/m ³	4a-Sohle, A in Bq			Nordfeld, A in Bq		
		1987 21 m ³	1989 44 m ³	1990 13,5 m ³	1979 184,2 m ³	1980 125,6 m ³	1981 36,8 m ³
Am-241	2,3E+05	4,8E+06	1,0E+07	3,1E+06	4,2E+07	2,8E+07	8,3E+06
Am-243	1,0E+02	2,1E+03	4,4E+03	1,4E+03	1,9E+04	1,3E+04	3,7E+03
Cm-244	9,1E+03	1,9E+05	4,0E+05	1,2E+05	1,7E+06	1,1E+06	3,3E+05
Cm-245	2,4E+00	5,0E+01	1,1E+02	3,2E+01	4,4E+02	3,0E+02	8,8E+01
Np-237	3,6E+02	7,5E+03	1,6E+04	4,8E+03	6,6E+04	4,5E+04	1,3E+04
Pu-239	2,4E+04	5,1E+05	1,1E+06	3,3E+05	4,5E+06	3,0E+06	8,9E+05
Pu-240	2,7E+04	5,8E+05	1,2E+06	3,7E+05	5,1E+06	3,4E+06	1,0E+06
Pu-242	3,7E+02	7,8E+03	1,6E+04	5,0E+03	6,8E+04	4,6E+04	1,4E+04
Ra-224	2,1E+01	4,5E+02	9,3E+02	2,9E+02	3,9E+03	2,7E+03	7,8E+02
Th-228	2,2E+01	4,6E+02	9,5E+02	2,9E+02	4,0E+03	2,7E+03	8,0E+02
Th-229	5,8E+01	1,2E+03	2,6E+03	7,8E+02	1,1E+04	7,3E+03	2,1E+03
U-232	2,2E+01	4,6E+02	9,7E+02	3,0E+02	4,1E+03	2,8E+03	8,1E+02
U-233	5,8E+01	1,2E+03	2,6E+03	7,8E+02	1,1E+04	7,3E+03	2,1E+03
U-234	8,6E+02	1,8E+04	3,8E+04	1,2E+04	1,6E+05	1,1E+05	3,2E+04
U-235	1,1E+02	2,3E+03	4,7E+03	1,4E+03	2,0E+04	1,3E+04	3,9E+03
U-236	2,1E+02	4,5E+03	9,4E+03	2,9E+03	3,9E+04	2,7E+04	7,8E+03
U-238	3,9E+02	8,1E+03	1,7E+04	5,2E+03	7,1E+04	4,9E+04	1,4E+04
Ag-108m	7,4E+06	1,6E+08	3,3E+08	1,0E+08	1,4E+09	9,3E+08	2,7E+08
Am-242m	2,0E+03	4,2E+04	8,8E+04	2,7E+04	3,7E+05	2,5E+05	7,4E+04
Ba-133	3,2E+01	6,7E+02	1,4E+03	4,3E+02	5,9E+03	4,0E+03	1,2E+03
C-14	6,4E+05	1,3E+07	2,8E+07	8,6E+06	1,2E+08	8,0E+07	2,3E+07
Ca-41	6,8E+01	1,4E+03	3,0E+03	9,2E+02	1,3E+04	8,6E+03	2,5E+03
Cd-113m	5,7E+05	1,2E+07	2,5E+07	7,7E+06	1,0E+08	7,2E+07	2,1E+07
Cl-36	5,0E+04	1,0E+06	2,2E+06	6,7E+05	9,1E+06	6,2E+06	1,8E+06
Co-60	8,2E+07	1,7E+09	3,6E+09	1,1E+09	1,5E+10	1,0E+10	3,0E+09
Cs-134	3,7E+06	7,8E+07	1,6E+08	5,0E+07	6,8E+08	4,7E+08	1,4E+08
Cs-135	2,4E+02	5,1E+03	1,1E+04	3,3E+03	4,5E+04	3,0E+04	8,9E+03
Cs-137	4,3E+07	9,1E+08	1,9E+09	5,8E+08	8,0E+09	5,4E+09	1,6E+09
Eu-152	9,5E+06	2,0E+08	4,2E+08	1,3E+08	1,7E+09	1,2E+09	3,5E+08
Eu-154	4,3E+06	9,1E+07	1,9E+08	5,9E+07	8,0E+08	5,5E+08	1,6E+08
Eu-155	9,2E+05	1,9E+07	4,1E+07	1,2E+07	1,7E+08	1,2E+08	3,4E+07
Fe-55	9,9E+07	2,1E+09	4,3E+09	1,3E+09	1,8E+10	1,2E+10	3,6E+09
H-3	2,2E+07	4,6E+08	9,6E+08	2,9E+08	4,0E+09	2,7E+09	8,0E+08
I-129	1,9E+01	4,1E+02	8,5E+02	2,6E+02	3,6E+03	2,4E+03	7,1E+02
Mn-54	3,0E+06	6,3E+07	1,3E+08	4,1E+07	5,6E+08	3,8E+08	1,1E+08
Mo-93	4,0E+03	8,3E+04	1,7E+05	5,3E+04	7,3E+05	5,0E+05	1,5E+05
Na-22	5,9E+05	1,2E+07	2,6E+07	8,0E+06	1,1E+08	7,4E+07	2,2E+07
Nb-94	2,5E+05	5,2E+06	1,1E+07	3,3E+06	4,5E+07	3,1E+07	9,0E+06
Nb-95	3,6E+05	7,6E+06	1,6E+07	4,9E+06	6,7E+07	4,5E+07	1,3E+07
Ni-63	4,0E+07	8,3E+08	1,7E+09	5,3E+08	7,3E+09	5,0E+09	1,5E+09
Ni-59	1,1E+06	2,3E+07	4,8E+07	1,5E+07	2,0E+08	1,4E+08	4,0E+07
Pd-107	1,2E+01	2,5E+02	5,2E+02	1,6E+02	2,2E+03	1,5E+03	4,3E+02
Pu-241	3,1E+06	6,5E+07	1,4E+08	4,2E+07	5,7E+08	3,9E+08	1,1E+08
Rb-87	3,4E+03	7,1E+04	1,5E+05	4,6E+04	6,2E+05	4,2E+05	1,2E+05
Se-79	1,8E+02	3,8E+03	8,0E+03	2,5E+03	3,4E+04	2,3E+04	6,7E+03
Sm-151	1,6E+06	3,3E+07	7,0E+07	2,2E+07	2,9E+08	2,0E+08	5,9E+07
Sn-126	2,1E+03	4,5E+04	9,4E+04	2,9E+04	3,9E+05	2,7E+05	7,9E+04
Sr-90	1,2E+07	2,5E+08	5,3E+08	1,6E+08	2,2E+09	1,5E+09	4,4E+08
Tc-99	1,7E+06	3,5E+07	7,3E+07	2,2E+07	3,1E+08	2,1E+08	6,1E+07
Zr-93	7,8E+03	1,6E+05	3,4E+05	1,1E+05	1,4E+06	9,8E+05	2,9E+05
Zr-95	1,6E+05	3,4E+06	7,2E+06	2,2E+06	3,0E+07	2,0E+07	6,0E+06

Tab. 19: Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivitäten für KKW-Mischabfälle im Westfeld, A in Bq

Radio-nuklid	AK in Bq/m ³	1981 174,2 m ³	1982 161,9 m ³	1983 157,4 m ³	1984 133 m ³	1985 154,1 m ³	1986 200,2 m ³	1987 107,8 m ³	1988 197 m ³	1989 283 m ³	1990 315,2 m ³	1991 11,2 m ³
Am-241	2,3E+05	3,9E+07	3,7E+07	3,6E+07	3,0E+07	3,5E+07	4,5E+07	2,4E+07	4,5E+07	6,4E+07	7,1E+07	2,5E+06
Am-243	1,0E+02	1,8E+04	1,6E+04	1,6E+04	1,3E+04	1,6E+04	2,0E+04	1,1E+04	2,0E+04	2,9E+04	3,2E+04	1,1E+03
Cm-244	9,1E+03	1,6E+06	1,5E+06	1,4E+06	1,2E+06	1,4E+06	1,8E+06	9,8E+05	1,8E+06	2,6E+06	2,9E+06	1,0E+05
Cm-245	2,4E+00	4,2E+02	3,9E+02	3,8E+02	3,2E+02	3,7E+02	4,8E+02	2,6E+02	4,7E+02	6,8E+02	7,6E+02	2,7E+01
Np-237	3,6E+02	6,2E+04	5,8E+04	5,6E+04	4,7E+04	5,5E+04	7,1E+04	3,8E+04	7,0E+04	1,0E+05	1,1E+05	4,0E+03
Pu-239	2,4E+04	4,2E+06	3,9E+06	3,8E+06	3,2E+06	3,7E+06	4,8E+06	2,6E+06	4,8E+06	6,8E+06	7,6E+06	2,7E+05
Pu-240	2,7E+04	4,8E+06	4,4E+06	4,3E+06	3,6E+06	4,2E+06	5,5E+06	3,0E+06	5,4E+06	7,8E+06	8,6E+06	3,1E+05
Pu-242	3,7E+02	6,4E+04	6,0E+04	5,8E+04	4,9E+04	5,7E+04	7,4E+04	4,0E+04	7,3E+04	1,0E+05	1,2E+05	4,1E+03
Ra-224	2,1E+01	3,7E+03	3,4E+03	3,3E+03	2,8E+03	3,3E+03	4,2E+03	2,3E+03	4,2E+03	6,0E+03	6,7E+03	2,4E+02
Th-228	2,2E+01	3,8E+03	3,5E+03	3,4E+03	2,9E+03	3,3E+03	4,3E+03	2,3E+03	4,3E+03	6,1E+03	6,8E+03	2,4E+02
Th-229	5,8E+01	1,0E+04	9,4E+03	9,1E+03	7,7E+03	9,0E+03	1,2E+04	6,3E+03	1,1E+04	1,6E+04	1,8E+04	6,5E+02
U-232	2,2E+01	3,8E+03	3,6E+03	3,5E+03	2,9E+03	3,4E+03	4,4E+03	2,4E+03	4,4E+03	6,3E+03	7,0E+03	2,5E+02
U-233	5,8E+01	1,0E+04	9,4E+03	9,1E+03	7,7E+03	9,0E+03	1,2E+04	6,3E+03	1,1E+04	1,6E+04	1,8E+04	6,5E+02
U-234	8,6E+02	1,5E+05	1,4E+05	1,4E+05	1,1E+05	1,3E+05	1,7E+05	9,3E+04	1,7E+05	2,4E+05	2,7E+05	9,6E+03
U-235	1,1E+02	1,9E+04	1,7E+04	1,7E+04	1,4E+04	1,7E+04	2,1E+04	1,2E+04	2,1E+04	3,0E+04	3,4E+04	1,2E+03
U-236	2,1E+02	3,7E+04	3,5E+04	3,4E+04	2,8E+04	3,3E+04	4,3E+04	2,3E+04	4,2E+04	6,0E+04	6,7E+04	2,4E+03
U-238	3,9E+02	6,8E+04	6,3E+04	6,1E+04	5,2E+04	6,0E+04	7,8E+04	4,2E+04	7,6E+04	1,1E+05	1,2E+05	4,3E+03
Ag-108m	7,4E+06	1,3E+09	1,2E+09	1,2E+09	9,9E+08	1,1E+09	1,5E+09	8,0E+08	1,5E+09	2,1E+09	2,3E+09	8,3E+07
Am-242m	2,0E+03	3,5E+05	3,3E+05	3,2E+05	2,7E+05	3,1E+05	4,0E+05	2,2E+05	4,0E+05	5,7E+05	6,3E+05	2,3E+04
Ba-133	3,2E+01	5,5E+03	5,1E+03	5,0E+03	4,2E+03	4,9E+03	6,4E+03	3,4E+03	6,3E+03	9,0E+03	1,0E+04	3,6E+02
C-14	6,4E+05	1,1E+08	1,0E+08	1,0E+08	8,5E+07	9,8E+07	1,3E+08	6,9E+07	1,3E+08	1,8E+08	2,0E+08	7,1E+06
Ca-41	6,8E+01	1,2E+04	1,1E+04	1,1E+04	9,1E+03	1,0E+04	1,4E+04	7,3E+03	1,3E+04	1,9E+04	2,1E+04	7,6E+02
Cd-113m	5,7E+05	9,9E+07	9,2E+07	9,0E+07	7,6E+07	8,8E+07	1,1E+08	6,1E+07	1,1E+08	1,6E+08	1,8E+08	6,4E+06
Cl-36	5,0E+04	8,6E+06	8,0E+06	7,8E+06	6,6E+06	7,6E+06	9,9E+06	5,3E+06	9,8E+06	1,4E+07	1,6E+07	5,6E+05
Co-60	8,2E+07	1,4E+10	1,3E+10	1,3E+10	1,1E+10	1,3E+10	1,6E+10	8,8E+09	1,6E+10	2,3E+10	2,6E+10	9,2E+08
Cs-134	3,7E+06	6,5E+08	6,0E+08	5,8E+08	4,9E+08	5,7E+08	7,4E+08	4,0E+08	7,3E+08	1,0E+09	1,2E+09	4,1E+07
Cs-135	2,4E+02	4,2E+04	3,9E+04	3,8E+04	3,2E+04	3,7E+04	4,8E+04	2,6E+04	4,8E+04	6,9E+04	7,6E+04	2,7E+03
Cs-137	4,3E+07	7,5E+09	7,0E+09	6,8E+09	5,7E+09	6,7E+09	8,7E+09	4,7E+09	8,5E+09	1,2E+10	1,4E+10	4,8E+08
Eu-152	9,5E+06	1,6E+09	1,5E+09	1,5E+09	1,3E+09	1,5E+09	1,9E+09	1,0E+09	1,9E+09	2,7E+09	3,0E+09	1,1E+08
Eu-154	4,3E+06	7,6E+08	7,0E+08	6,8E+08	5,8E+08	6,7E+08	8,7E+08	4,7E+08	8,6E+08	1,2E+09	1,4E+09	4,9E+07
Eu-155	9,2E+05	1,6E+08	1,5E+08	1,5E+08	1,2E+08	1,4E+08	1,8E+08	9,9E+07	1,8E+08	2,6E+08	2,9E+08	1,0E+07
Fe-55	9,9E+07	1,7E+10	1,6E+10	1,6E+10	1,3E+10	1,5E+10	2,0E+10	1,1E+10	1,9E+10	2,8E+10	3,1E+10	1,1E+09
H-3	2,2E+07	3,8E+09	3,5E+09	3,4E+09	2,9E+09	3,4E+09	4,4E+09	2,4E+09	4,3E+09	6,2E+09	6,9E+09	2,4E+08

Tab. 19 (Fortsetzung): Jährlich eingelagerte radionuklidspezifische Aktivitäten für KKW-Mischabfälle im Westfeld, A in Bq

Radio-nuklid	AK in Bq/m ³	1981 174,2 m ³	1982 161,9 m ³	1983 157,4 m ³	1984 133 m ³	1985 154,1 m ³	1986 200,2 m ³	1987 107,8 m ³	1988 197 m ³	1989 283 m ³	1990 315,2 m ³	1991 11,2 m ³
I-129	1,9E+01	3,4E+03	3,1E+03	3,1E+03	2,6E+03	3,0E+03	3,9E+03	2,1E+03	3,8E+03	5,5E+03	6,1E+03	2,2E+02
Mn-54	3,0E+06	5,3E+08	4,9E+08	4,8E+08	4,0E+08	4,7E+08	6,0E+08	3,3E+08	5,9E+08	8,5E+08	9,5E+08	3,4E+07
Mo-93	4,0E+03	6,9E+05	6,4E+05	6,2E+05	5,3E+05	6,1E+05	7,9E+05	4,3E+05	7,8E+05	1,1E+06	1,2E+06	4,4E+04
Na-22	5,9E+05	1,0E+08	9,6E+07	9,3E+07	7,9E+07	9,1E+07	1,2E+08	6,4E+07	1,2E+08	1,7E+08	1,9E+08	6,6E+06
Nb-94	2,5E+05	4,3E+07	4,0E+07	3,9E+07	3,3E+07	3,8E+07	4,9E+07	2,6E+07	4,8E+07	7,0E+07	7,7E+07	2,8E+06
Nb-95	3,6E+05	6,3E+07	5,9E+07	5,7E+07	4,8E+07	5,6E+07	7,2E+07	3,9E+07	7,1E+07	1,0E+08	1,1E+08	4,1E+06
Ni-59	1,1E+06	1,9E+08	1,8E+08	1,7E+08	1,5E+08	1,7E+08	2,2E+08	1,2E+08	2,2E+08	3,1E+08	3,4E+08	1,2E+07
Ni-63	4,0E+07	6,9E+09	6,4E+09	6,2E+09	5,3E+09	6,1E+09	7,9E+09	4,3E+09	7,8E+09	1,1E+10	1,2E+10	4,4E+08
Pd-107	1,2E+01	2,1E+03	1,9E+03	1,9E+03	1,6E+03	1,8E+03	2,4E+03	1,3E+03	2,3E+03	3,3E+03	3,7E+03	1,3E+02
Pu-241	3,1E+06	5,4E+08	5,0E+08	4,9E+08	4,1E+08	4,8E+08	6,2E+08	3,3E+08	6,1E+08	8,8E+08	9,7E+08	3,5E+07
Rb-87	3,4E+03	5,9E+05	5,5E+05	5,3E+05	4,5E+05	5,2E+05	6,8E+05	3,6E+05	6,7E+05	9,6E+05	1,1E+06	3,8E+04
Se-79	1,8E+02	3,2E+04	3,0E+04	2,9E+04	2,4E+04	2,8E+04	3,7E+04	2,0E+04	3,6E+04	5,2E+04	5,8E+04	2,0E+03
Sm-151	1,6E+06	2,8E+08	2,6E+08	2,5E+08	2,1E+08	2,5E+08	3,2E+08	1,7E+08	3,1E+08	4,5E+08	5,0E+08	1,8E+07
Sn-126	2,1E+03	3,7E+05	3,5E+05	3,4E+05	2,8E+05	3,3E+05	4,3E+05	2,3E+05	4,2E+05	6,0E+05	6,7E+05	2,4E+04
Sr-90	1,2E+07	2,1E+09	1,9E+09	1,9E+09	1,6E+09	1,8E+09	2,4E+09	1,3E+09	2,4E+09	3,4E+09	3,8E+09	1,3E+08
Tc-99	1,7E+06	2,9E+08	2,7E+08	2,6E+08	2,2E+08	2,6E+08	3,3E+08	1,8E+08	3,3E+08	4,7E+08	5,2E+08	1,9E+07
Zr-93	7,8E+03	1,4E+06	1,3E+06	1,2E+06	1,0E+06	1,2E+06	1,6E+06	8,4E+05	1,5E+06	2,2E+06	2,5E+06	8,7E+04
Zr-95	1,6E+05	2,8E+07	2,6E+07	2,6E+07	2,2E+07	2,5E+07	3,3E+07	1,8E+07	3,2E+07	4,6E+07	5,1E+07	1,8E+06

3.4.4 Radionuklidspezifische Aktivitätsinhalte der festen Mischabfälle im ERAM

Für das Gesamtvolumen der eingelagerten KKW-Mischabfälle ergibt sich das folgende auf den 01.07.1991 bezogene Radionuklidinventar:

Tab. 20: Radionuklidspezifische Aktivitätsinhalte der KKW-Mischabfälle in den betreffenden Einlagerungsbereichen

Radio-nuklid	Nordfeld A in Bq	4a-Sohle A in Bq	Westgesenk A in Bq	Westfeld 1 A in Bq	Summe A in Bq
Am-241	7,8E+07	1,8E+07	2,1E+07	4,3E+08	5,5E+08
Am-243	3,5E+04	7,9E+03	9,3E+03	1,9E+05	2,4E+05
Cm-244	3,1E+06	7,1E+05	7,8E+05	1,7E+07	2,2E+07
Cm-245	8,3E+02	1,9E+02	2,3E+02	4,5E+03	5,8E+03
Np-237	1,2E+05	2,8E+04	1,8E+04	6,8E+05	8,5E+05
Pu-239	8,4E+06	1,9E+06	2,7E+06	4,6E+07	5,9E+07
Pu-240	9,5E+06	2,2E+06	2,8E+06	5,2E+07	6,6E+07
Pu-242	1,3E+05	2,9E+04	4,1E+04	7,0E+05	9,0E+05
Ra-224	0	0	0	2,4E+02	2,4E+02
Th-228	1,2E+02	7,7E+02	2,8E+01	1,2E+04	1,3E+04
Th-229	2,0E+04	4,5E+03	7,1E+03	1,1E+05	1,4E+05
U-232	6,8E+03	1,7E+03	9,3E+02	4,0E+04	5,0E+04
U-233	2,0E+04	4,6E+03	7,1E+03	1,1E+05	1,4E+05
U-234	3,0E+05	6,7E+04	3,9E+04	1,6E+06	2,0E+06
U-235	3,7E+04	8,4E+03	1,2E+04	2,0E+05	2,6E+05
U-236	7,4E+04	1,7E+04	1,1E+04	4,0E+05	5,1E+05
U-238	1,3E+05	3,0E+04	2,0E+04	7,4E+05	9,2E+05
Ag-108m	2,6E+09	5,8E+08	1,3E+07	1,4E+10	1,7E+10
Am-242m	6,6E+05	1,6E+05	1,0E+05	3,7E+06	4,6E+06
Ba-133	5,3E+03	2,1E+03	1,2E+03	4,5E+04	5,3E+04
C-14	2,2E+08	5,0E+07	3,4E+07	1,2E+09	1,5E+09
Ca-41	2,4E+04	5,3E+03	3,5E+03	1,3E+05	1,6E+05
Cd-113m	1,1E+08	4,0E+07	1,1E+07	8,6E+08	1,0E+09
Cl-36	1,7E+07	3,9E+06	3,1E+06	9,4E+07	1,2E+08
Co-60	6,3E+09	4,8E+09	4,1E+08	8,9E+10	1,0E+11
Cs-134	2,9E+07	1,4E+08	9,2E+05	2,1E+09	2,3E+09
Cs-135	8,4E+04	1,9E+04	1,3E+04	4,6E+05	5,8E+05
Cs-137	1,2E+10	3,2E+09	1,4E+09	7,4E+10	9,0E+10
Eu-152	1,8E+09	6,6E+08	5,1E+08	2,3E+10	2,6E+10
Eu-154	6,0E+08	2,8E+08	1,1E+08	5,4E+09	6,4E+09
Eu-155	6,4E+07	5,2E+07	1,0E+07	9,4E+08	1,1E+09
Fe-55	1,9E+09	4,4E+09	7,1E+07	7,1E+10	7,8E+10
H-3	4,0E+09	1,5E+09	5,5E+08	3,2E+10	3,8E+10
I-129	6,7E+03	1,5E+03	9,9E+02	3,7E+04	4,6E+04
Mn-54	1,2E+05	4,7E+07	9,9E+01	7,1E+08	7,5E+08
Mo-93	1,4E+06	3,1E+05	4,5E+05	7,5E+06	9,6E+06
Na-22	1,0E+07	2,5E+07	3,6E+05	5,0E+08	5,4E+08
Nb-94	8,5E+07	2,0E+07	2,1E+07	4,7E+08	5,9E+08
Nb-95	0	3,5E+03	0	4,1E+06	4,1E+06
Ni-59	3,8E+08	8,6E+07	5,0E+07	2,1E+09	2,6E+09
Ni-63	1,3E+10	3,0E+09	1,2E+09	7,2E+10	8,9E+10
Pd-107	4,1E+03	9,3E+02	7,3E+02	2,2E+04	2,8E+04
Pu-241	6,2E+08	2,2E+08	1,4E+08	4,4E+09	5,4E+09
Rb-87	1,2E+06	2,7E+05	0	6,4E+06	7,8E+06
Se-79	6,4E+04	1,4E+04	9,4E+03	3,5E+05	4,3E+05
Sm-151	5,0E+08	1,2E+08	1,7E+08	2,9E+09	3,7E+09

Fortsetzung Tab. 20: Radionuklidspezifische Aktivitätsinhalte der KKW-Mischabfälle in den betreffenden Einlagerungsbereichen

Radio-nuklid	Nordfeld A in Bq	4a-Sohle A in Bq	Westgesenk A in Bq	Westfeld 1 A in Bq	Summe A in Bq
Sn-126	7,4E+05	1,7E+05	1,8E+05	4,0E+06	5,1E+06
Sr-90	3,2E+09	1,0E+06	1,0E+09	2,0E+10	2,5E+10
Tc-99	5,8E+08	1,3E+08	1,1E+08	3,2E+09	4,0E+09
Zr-93	2,7E+06	6,1E+05	3,5E+05	1,5E+07	1,8E+07
Zr-95	0	4,5E+04	0	2,8E+06	2,9E+06

ERA
Morsleben

4 RADIONUKLIDINVENTAR DER 1971 – 1991 EINGELAGERTEN ABFÄLLE

In Tab. 21 und 22 wird eine Aufstellung des Radionuklidinventars der bis 1991 im ERAM eingelagerten radioaktiven Abfälle vorgenommen. Bei dieser Aufstellung wurde der ERAPROT, Rev. 0 [2] zugrunde gelegt, da die letzte Revision des ERAPROT (Revision 3, [5]) die mit diesem Bericht vorgenommenen Präzisierungen des Radionuklidinventars im Kap. 2 teilweise bereits enthält. In Tab. 22 wird eine Übersicht über das Radionuklidinventar bezogen auf die einzelnen Einlagerungsbereiche des ERAM gegeben. In Tab. 21 werden die in Kap. 2 vorgenommenen Präzisierungen und Ergänzungen für Pu-239, Pu-240, Pu-241, Am-241, U-234, U-235, U-238, Ra-226, Co-60 und H-3 sowie für relevante Radionuklide der radioaktiven Abfälle aus dem ehemaligen ZfK Rossendorf und für relevante Radionuklide in den Abfallströmen EDR_{st}, EDR_{fl} und Mischabfälle aus den KKW Greifswald und Rheinsberg (Kap. 3) aufgenommen. Alle Aktivitätsangaben beziehen sich auf das Jahr 1991. Deklarationspflichtige Radionuklide, die im ERAPROT, in den Abfalldatenblättern der KKW aber nicht aufgeführt sind, werden mit „0“ angegeben. Die Aktivität für diese Radionuklide resultiert in dem Fall aus APR-Abfällen (z. B. Ra-226). Für den größten Teil der Radionuklide, die gemäß Endlagerungsbedingungen [15] relevant für die Langzeitsicherheit sind, liegen keine Vergleichsdaten aus dem ERAPROT vor.

Bei der Ergänzung des ERAPROT war zu beachten, dass bestimmte Radionuklide aus dem ZfK Rossendorf und den KKW schon in den Angaben des ERAPROT enthalten waren. So wurden die Aktivitäten der Hauptradionuklide Co-60, Cs-137, Cs-134 und Mn-54, da sie gut messbar waren, in den Übergabe-/Übernahmeprotokollen stets von den Abfallverursachern angegeben. In die Aufstellung des Radionuklidinventars wurden daher im Fall der KKW-Abfälle die jeweils höheren Werte übernommen, für die ZfK-Abfälle wurden die Differenzen aufgenommen. In den höheren Werten aus dem ERAPROT spiegeln sich auch die mittelaktiven Abfälle wider, die z. B. in den Abbau 1 des Südfeldes verstürzt wurden.

4.1 RADIONUKLIDSPEZIFISCHE AKTIVITÄTEN IM GESAMTEN ERAM NACH ERGÄNZUNG BZW. PRÄZISIERUNG DES RADIONUKLIDINVENTARS

In Tab. 21 werden die Gesamtaktivität (Gesamt-neu) und die nochmals aufgezeigten Präzisierungen bzw. Ergänzungen der radionuklidspezifischen Aktivitäten der relevanten Radionuklide für das gesamte ERAM für den Einlagerungszeitraum 1971 bis 1991 aufgeführt. Für Radionuklide, für die keine Aktivitätsangaben aus dem ERAPROT vorliegen, werden die berechneten Werte übernommen (Summe KKW-Abfälle). Für Radionuklide, für die Angaben aus dem ERAPROT vorliegen, werden die berechneten Werte mit diesen verglichen und im Einzelfall geprüft, welcher Wert in die Aktivitätsaufstellung in Tab. 21 übernommen wird.

Für die radioaktiven Abfälle aus dem ehemaligen ZfK Rossendorf werden die in [8] ermittelten Radionuklidinventare (s. Kap. 2.2) in die Aufstellung des Aktivitätsinventars des ERAM übernommen. Bereits im ERAPROT enthaltene Inventare des ZfK bzw. die im Kap. 2.3 vorgenommenen Korrekturen werden dabei berücksichtigt. Radionuklide, die einen großen Anteil an der radionuklidspezifischen Summenaktivität haben, sind im Folgenden einzeln aufgeführt (Sr-90, Fe-55, Ni-63, U-234, U-235, U-238).

H-3: Wie im Kapitel 2.5. beschrieben, wurden zusätzlich $2,7E+11$ Bq Tritium im Abbau 3 des Südfeldes eingelagert. Für das Nordfeld ergibt sich eine H-3-Aktivität von $2,4E+12$ Bq. Für das gesamte ERAM ergibt sich gegenüber dem ERAPROT ein Wert von $5,2E+12$ Bq (bezogen auf den 01.07.1991) einschließlich KKW-Abfällen.

Am-241: Übernommen werden der Aktivitätswert aus dem ERAPROT sowie die Aktivitäten, die aus der Zusammensetzung der Rauchgaswarnmelder und der Pu-Be-Quelle berechnet wurden (s. Kap. 2.1).

- Pu-239: Der Pu-239-Wert im ERAPROT von $9,6E+10$ Bq wird ersetzt durch $6,1E+10$ Bq (s. Kap. 2.1).
- Pu-240: Durch die Pu-Rauchgaswarnmelder und die Pu-Be-Neutronenquelle wurde eine zusätzliche Aktivität von $5,7E+10$ Bq eingelagert (s. Kap. 2.1).
- U-234: Es wird gemäß Kap. 2. 2 eine zusätzliche Aktivität von $4,3E+08$ Bq, gemäß Kap. 2.3 eine zusätzliche Aktivität von $2,2E+08$ Bq aufgenommen.
- U-235: Der im ERAPROT enthaltene Aktivitätswert von $7,0E+07$ Bq wird ersetzt durch $1,0E+07$ Bq (s. Kap. 2.3), zusätzlich wird gemäß Kap. 2.2 eine Aktivität von $3,9E+07$ Bq berücksichtigt.
- U-238: Es wird gemäß Kap. 2.2 eine zusätzliche Aktivität von $4,1E+07$ Bq und gemäß Kap. 2.3 von $2,2E+08$ Bq aufgenommen.
- Pu-241: Übernommen werden der Aktivitätswert aus dem ERAPROT sowie die Aktivitäten, die aus der Zusammensetzung der Rauchgaswarnmelder und der Pu-Be-Quelle berechnet wurden (s. Kap. 2.1).
- Tc-99: Die für die KKW-Abfälle berechnete Aktivität wird zum ERAPROT-Wert addiert, da die gesamte im ERAPROT angegebene Tc-99-Aktivität aus Abfällen der Anwendung und Produktion von Radionukliden (APR) stammt [17].
- Eu-152, } Übernommen wird der höhere Aktivitätswert aus dem ERAPROT; in dieser Aktivität stammt der
Eu-154, } geringere Anteil aus APR-Abfällen [17]. Der überwiegende Aktivitätsanteil stammt aus KKW-
Eu-155: } Abfällen und wurde in den Übergabe-/Übernahmeprotokollen deklariert.
- Sr-90: Für Sr-90 wird ebenfalls der Aktivitätswert aus dem ERAPROT übernommen. Der darin enthaltene Aktivitätsanteil aus KKW-Abfällen ist höher als der berechnete. Für die Abfälle aus dem ehemaligen ZfK Rossendorf wird zusätzlich eine Aktivität von $4,0E+12$ Bq berücksichtigt (Kap. 2.2).
- Mn-54: Die in Abbau 3 des Südfeldes eingelagerte Aktivität stammt zu 100% aus den KKW. In den Abauen 1 und 2 rühren die hohen Aktivitäten ebenfalls aus KKW-Abfällen her. Hier kommt hinzu, dass sich der Anteil der eingelagerten mittelaktiven KKW-Abfälle bemerkbar macht. Daher werden die höheren Werte aus dem ERAPROT übernommen.
- Fe-55: Aufgrund der präzisierten Aktivitätsangaben zu den Abfällen aus dem ehemaligen ZfK Rossendorf wird eine zusätzliche Fe-55-Aktivität von $9,5E+12$ Bq aufgenommen (Kap. 2.2).
- Cs-134, } Auch für diese Radionuklide werden die höheren Werte aus dem ERAPROT übernommen, der
Cs-137: } Anteil mittelaktiver Abfälle macht sich hierin deutlich bemerkbar.
- Co-60: Infolge der Korrektur des auf der 4a-Sohle des Zentralteils eingelagerten Co-60-Inventars wird der Wert für das gesamte ERAM auf nunmehr $6,4E+13$ Bq korrigiert.
- Ni-63: Gemäß Kap. 2.2 wird eine zusätzliche Aktivität von $3,3E+12$ Bq aufgenommen.

Tab. 21. Aktivitätsinventar des gesamten ERAM nach Präzisierung bzw. Ergänzung

Radio-nuklid	ERAPROT [2] A in Bq	EDR _{st} A in Bq	EDR _{fl} A in Bq	Mischab-fälle A in Bq	Summe KKW- Abfälle, A in Bq	APR- Abfälle A in Bq	ZfK-Abfälle A in Bq	Gesamt- neu A in Bq
Am-241	1,2E+11	2,7E+07	8,4E+07	5,5E+08	6,6E+08	3,1E+10		1,5E+11
Am-243		9,6E+04	3,0E+05	2,4E+05	6,4E+05			6,4E+05
Cm-244		3,3E+06	1,1E+07	2,2E+07	3,6E+07			3,6E+07
Cm-245		1,8E+03	5,7E+03	5,8E+03	1,3E+04			1,3E+04
Cm-246		3,1E+02	9,5E+02	0	1,3E+03			1,3E+03
Np-237		3,3E+05	1,0E+06	8,5E+05	2,2E+06			2,2E+06
Pu-239	9,6E+10	4,2E+06	1,3E+07	5,9E+07	7,6E+07	6,1E+10	3,8E+08	6,1E+10
Pu-240	3,8E+08	7,8E+06	2,4E+07	6,6E+07	9,9E+07	5,7E+10	1,5E+07	5,8E+10
Pu-242		4,2E+04	1,3E+05	9,0E+05	1,1E+06			1,1E+06
Ra-224		7,3E+02	0	2,4E+02	9,7E+02			9,7E+02
Ra-226	1,2E+10	0	0	0	0	1,1E+10		2,3E+10
Th-228	1,4E+06	8,4E+03	4,9E+03	1,3E+04	2,6E+04			1,4E+06
Th-229		0	0	1,4E+05	1,4E+05			1,4E+05
U-232		2,2E+04	6,8E+04	5,0E+04	1,4E+05			1,4E+05
U-233		0	0	1,4E+05	1,4E+05			1,4E+05
U-234	7,8E+06	8,4E+05	2,6E+06	2,0E+06	5,5E+06	2,2E+08	4,3E+08	6,6E+08
U-235	7,0E+07	1,3E+04	4,0E+04	2,6E+05	3,1E+05	9,8E+06	3,9E+07	4,9E+07
U-236		1,9E+05	6,0E+05	5,1E+05	1,3E+06			1,3E+06
U-238	8,0E+05	3,6E+05	1,1E+06	9,2E+05	2,4E+06	2,2E+08	4,1E+07	2,6E+08
Ag-108m		6,0E+08	1,8E+09	1,7E+10	2,0E+10			2,0E+10
Am-242m		1,8E+05	5,4E+05	4,6E+06	5,4E+06			5,4E+06
Ba-133	2,9E+08	5,4E+04	1,1E+05	5,3E+04	2,2E+05			2,9E+08
C-14	2,8E+12	2,1E+10	6,7E+10	1,5E+09	9,0E+10		1,3E+11	3,0E+12
Ca-41		4,4E+06	1,4E+07	1,6E+05	1,8E+07			1,8E+07
Cd-113m		1,1E+09	2,5E+09	1,0E+09	4,7E+09			4,7E+09
Cl-36	8,3E+08	1,3E+08	4,0E+08	1,2E+08	6,4E+08			1,5E+09
Co-60	8,3E+13	2,9E+12	4,2E+12	1,0E+11	7,3E+12	-1,9E+13	-3,2E+11	6,4E+13
Cs-134	9,1E+12	9,5E+11	1,3E+12	2,3E+09	2,2E+12		-5,0E+10	9,1E+12
Cs-135		3,7E+07	1,2E+08	5,8E+05	1,5E+08			1,5E+08
Cs-137	6,4E+13	7,1E+12	1,9E+13	9,0E+10	2,6E+13		-1,5E+11	6,4E+13
Eu-152	1,1E+11	7,2E+06	1,6E+07	2,6E+10	2,6E+10		1,5E+09	1,1E+11
Eu-154	2,0E+10	3,2E+09	6,2E+09	6,4E+09	1,6E+10		3,7E+07	2,3E+10
Eu-155	7,2E+09	6,6E+08	9,1E+08	1,1E+09	2,6E+09		2,0E+09	9,2E+09
Fe-55	3,3E+08	3,3E+12	2,8E+12	7,8E+10	6,2E+12		7,5E+12	1,4E+13
H-3	2,4E+12	2,7E+10	5,8E+10	3,8E+10	1,2E+11	2,7E+12	5,0E+10	5,2E+12
I-125	7,2E+06	0	0	0	0		5,4E+07	6,1E+07
I-129	3,0E+07	1,5E+06	4,5E+06	4,6E+04	6,0E+06			3,6E+07
Kr-85	8,9E+11	0	0	0	0		3,4E+07	8,9E+11
Mn-54	2,9E+12	1,2E+11	4,1E+10	7,5E+08	1,6E+11		1,7E+10	2,9E+12
Mo-93		1,3E+07	3,9E+07	9,6E+06	6,2E+07			6,2E+07
Na-22	2,3E+10	5,8E+09	4,4E+09	5,4E+08	1,1E+10		2,3E+04	3,4E+10
Nb-94		1,5E+09	4,7E+09	5,9E+08	6,8E+09			6,8E+09
Nb-95		4,5E+07	5,1E+04	4,1E+06	4,9E+07		6,8E+06	5,6E+07
Ni-59		1,4E+10	4,4E+10	2,6E+09	6,1E+10			6,1E+10
Ni-63	3,5E+10	1,6E+12	4,8E+12	8,9E+10	6,5E+12		3,3E+12	9,8E+12
Pb-210	6,2E+07	0	0	0	0			6,2E+07
Pd-107		2,4E+06	7,3E+06	2,8E+04	9,7E+06			9,7E+06
Pu-241	6,9E+11	1,3E+10	2,9E+10	5,4E+09	4,7E+10	9,4E+11	2,9E+07	1,6E+12
Ra-228	3,5E+09	0	0	0	0			3,5E+09

Fortsetzung Tab. 21: Aktivitätsinventar des gesamten ERAM nach Präzisierung bzw. Ergänzung

Radio-nuklid	ERAPROT [2] A in Bq	EDR _{st} A in Bq	EDR _{fl} A in Bq	Mischab-fälle A in Bq	Summe KKW- Abf., A in Bq	APR- Abfälle A in Bq	ZfK-Abfälle A in Bq	Gesamt- neu A in Bq
Rb-87		7,1E+02	2,2E+03	7,8E+06	7,8E+06			7,8E+06
Se-79		2,2E+07	6,7E+07	4,3E+05	8,9E+07			8,9E+07
Sm-151		6,7E+08	2,1E+09	3,7E+09	6,5E+09		3,8E+08	6,9E+09
Sn-126		1,2E+07	3,6E+07	5,1E+06	5,3E+07			5,3E+07
Sr-90	7,0E+11	4,6E+08	1,2E+09	2,5E+10	2,7E+10		3,9E+12	4,6E+12
Tc-99	9,4E+09	8,8E+09	2,7E+10	4,0E+09	4,0E+10			4,9E+10
Zr-93		5,8E+08	1,8E+09	1,8E+07	2,4E+09			2,4E+09
Zr-95		2,3E+07	6,2E+05	2,9E+06	2,6E+07		2,3E+08	2,6E+08

4.2 RADIONUKLIDSPEZIFISCHE AKTIVITÄTEN IN DEN EINZELNEN EINLAGERUNGSBEREICHEN DES ERAM NACH ERGÄNZUNG BZW. PRÄZISIERUNG DES RADIONUKLIDINVENTARS

In Tabelle 22 wird die Aktivität der relevanten Radionuklide nach den in den vorangegangenen Kapiteln vorgenommenen Ergänzungen bzw. Präzisierungen für die einzelnen Einlagerungsbereiche abgeschätzt. Es werden die gleichen Annahmen für die Übernahme der Aktivitätswerte in die Aktivitätsaufstellung getroffen wie im Kap. 4.1.

In Tabelle 22 sind die vorgenommenen Präzisierungen und Ergänzungen für Pu-239, Pu-240, Pu-241, Am-241, U-234, U-235, U-238, Ra-226, Co-60 und H-3 sowie für relevante Radionuklide der radioaktiven Abfälle aus dem ehemaligen ZfK Rossendorf im Kap. 2 des vorliegenden Berichtes und die in Kap. 3 für relevante Radionuklide in den Abfallströmen EDR_{st}, EDR_{fl} und Mischabfälle aus den KKW Greifswald und Rheinsberg enthalten. Alle Aktivitätsangaben beziehen sich auf das Jahr 1991. Deklarationspflichtige Radionuklide, die im ERAPROT aufgeführt sind, in den Abfalldatenblättern der KKW jedoch nicht, werden für Einlagerungshohlräume, in denen KKW-Abfälle endgelagert sind mit „0“ angegeben. Die Aktivität für diese Radionuklide stammt aus APR-Abfällen (z. B. Ra-226).

Tab. 22: Radionuklidspezifische Aktivitäten der bis 1991 eingelagerten radioaktiven Abfälle bezogen auf die Einlagerungsbereiche
(Bezugsdatum der Aktivität: 01.07.1991)

Radionuklid	Abbau 1	Abbau 2	Abbau 3	Nordstrecke	Nordfeld	4a-Sohle	Westgesenk	Westfeld 1
Am-241	8,4E+10	1,1E+07	7,7E+07	2,6E+05	7,8E+07	1,8E+07	2,1E+07	6,3E+10
Am-243	8,0E+04	3,8E+04	2,8E+05	9,5E+02	3,5E+04	7,9E+03	9,3E+03	1,9E+05
Cm-244	2,8E+06	1,4E+06	9,9E+06	3,4E+04	3,1E+06	7,1E+05	7,8E+05	1,7E+07
Cm-245	1,5E+03	7,2E+02	5,2E+03	1,8E+01	8,3E+02	1,9E+02	2,3E+02	4,5E+03
Cm-246	2,6E+02	1,2E+02	8,8E+02	3,0E+00	0	0	0	0
Np-237	2,8E+05	1,3E+05	9,3E+05	3,2E+03	1,2E+05	2,8E+04	1,8E+04	6,8E+05
Pu-239	2,2E+08	3,5E+06	3,6E+07	4,2E+04	8,4E+06	1,9E+06	2,7E+06	6,1E+10
Pu-240	3,7E+08	3,1E+06	2,3E+07	7,7E+04	9,5E+06	2,2E+06	2,8E+06	5,7E+10
Pu-242	3,5E+04	1,6E+04	1,2E+05	4,0E+02	1,3E+05	2,9E+04	4,1E+04	7,0E+05
Ra-224	4,7E+02	2,6E+02	0	0	0	0	0	2,4E+02
Ra-226	1,1E+10	1,7E+08	0	0	0	0	0	1,2E+10
Th-228	1,4E+06	3,0E+03	2,9E+03	1,2E+02	1,2E+02	7,7E+02	2,8E+01	1,2E+04
Th-229	0	0	0	0	2,0E+04	4,5E+03	7,1E+03	1,1E+05
U-232	1,9E+04	8,6E+03	6,3E+04	2,2E+02	6,8E+03	1,7E+03	9,3E+02	4,0E+04
U-233	0	0	0	0	2,0E+04	4,6E+03	7,1E+03	1,1E+05
U-234	7,1E+05	4,0E+06	5,0E+07	8,3E+03	3,0E+05	6,7E+04	3,9E+04	6,0E+08
U-235	1,1E+04	9,7E+04	1,2E+06	1,3E+02	3,7E+04	8,4E+03	1,2E+04	4,7E+07
U-236	1,6E+05	7,6E+04	5,5E+05	1,9E+03	7,4E+04	1,7E+04	1,1E+04	4,0E+05
U-238	3,0E+05	4,0E+05	4,4E+06	3,5E+03	1,3E+05	3,0E+04	2,0E+04	2,6E+08
Ag-108m	5,0E+08	2,3E+08	1,6E+09	5,7E+06	2,6E+09	5,8E+08	1,3E+07	1,4E+10
Am-242m	1,5E+05	7,0E+04	5,0E+05	1,7E+03	6,6E+05	1,6E+05	1,0E+05	3,7E+06
Ba-133	4,5E+04	2,1E+04	1,0E+05	3,8E+02	5,3E+03	2,1E+03	1,2E+03	2,9E+08
C-14	2,1E+12	9,6E+09	1,8E+11	2,1E+08	5,8E+10	1,4E+09	2,9E+08	6,4E+11
Ca-41	3,7E+06	1,7E+06	1,2E+07	4,3E+04	2,4E+04	5,3E+03	3,5E+03	1,3E+05
Cd-113m	9,5E+08	4,2E+08	2,3E+09	8,4E+06	1,1E+08	4,0E+07	1,1E+07	8,6E+08
Cl-36	1,1E+08	5,0E+07	3,7E+08	1,3E+06	1,7E+07	3,9E+06	3,1E+06	9,2E+08
Co-60	3,0E+13	3,7E+12	5,6E+12	2,9E+10	5,8E+11	1,9E+13	1,2E+09	5,2E+12
Cs-134	6,1E+12	1,3E+12	9,1E+11	6,7E+09	7,5E+09	1,5E+10	5,9E+06	8,3E+11
Cs-135	3,1E+07	1,5E+07	1,1E+08	3,6E+05	8,4E+04	1,9E+04	1,3E+04	4,6E+05
Cs-137	3,3E+13	3,9E+12	1,8E+13	6,7E+10	7,7E+11	1,5E+11	2,9E+09	8,7E+12
Eu-152	8,5E+09	4,6E+10	4,9E+10	5,5E+04	3,2E+08	6,6E+08	5,1E+08	5,8E+09

Fortsetzung Tab. 22: Radionuklidspezifische Aktivitäten der bis 1991 eingelagerten radioaktiven Abfälle bezogen auf die Einlagerungsbereiche
(Bezugsdatum der Aktivität: 01.07.1991)

Radionuklid	Abbau 1	Abbau 2	Abbau 3	Nordstrecke	Nordfeld	4a-Sohle	Westgesenk	Westfeld 1
Eu-154	2,7E+09	3,7E+08	1,9E+10	2,1E+07	6,4E+05	1,6E+08	1,1E+08	7,1E+08
Eu-155	1,4E+09	1,7E+06	7,4E+09	3,1E+06	4,5E+07	5,2E+07	1,0E+07	2,4E+08
Fe-55	1,0E+13	1,2E+12	2,0E+12	8,3E+09	1,9E+09	4,5E+09	7,1E+07	4,0E+11
H-3	5,5E+11	8,0E+10	7,3E+11	2,0E+08	2,4E+12	1,5E+09	5,5E+08	1,4E+12
I-125	5,3E+07	0	0	0	0	9,2E+03	0	7,8E+06
I-129	1,2E+06	5,7E+05	4,2E+06	1,4E+04	6,7E+03	1,5E+03	9,9E+02	3,0E+07
Kr-85	4,8E+09	0	0	0	5,3E+08	0	0	8,8E+11
Mn-54	2,2E+12	5,2E+11	6,6E+10	2,2E+08	3,6E+07	4,6E+09	2,2E+03	2,2E+11
Mo-93	1,1E+07	5,0E+06	3,6E+07	1,2E+05	1,4E+06	3,1E+05	4,5E+05	7,5E+06
Na-22	4,9E+09	2,2E+09	3,1E+09	1,3E+07	1,0E+07	2,5E+07	3,6E+05	2,3E+10
Nb-94	1,3E+09	6,0E+08	4,4E+09	1,5E+07	8,5E+07	2,0E+07	2,1E+07	4,7E+08
Nb-95	3,1E+07	2,0E+07	2,3E+00	0	0	3,5E+03	0	4,7E+06
Ni-59	1,2E+10	5,6E+09	4,1E+10	1,4E+08	3,8E+08	8,6E+07	5,0E+07	2,1E+09
Ni-63	4,5E+12	6,1E+11	4,5E+12	1,5E+10	1,3E+10	4,3E+09	1,2E+09	2,0E+11
Pb-210	0	0	0	0	0	0	0	6,2E+07
Pd-107	2,0E+06	9,2E+05	6,7E+06	2,3E+04	4,1E+03	9,3E+02	7,3E+02	2,2E+04
Pu-241	4,8E+11	4,8E+09	2,6E+10	9,3E+07	3,1E+10	2,2E+08	1,4E+08	1,1E+12
Ra-228	3,5E+09	0	0	0	0	0	0	0
Rb-87	5,9E+02	2,8E+02	2,0E+03	6,9E+00	1,2E+06	2,7E+05	0	6,4E+06
Se-79	1,8E+07	8,4E+06	6,2E+07	2,1E+05	6,4E+04	1,4E+04	9,4E+03	3,5E+05
Sm-151	5,6E+08	2,7E+08	1,9E+09	6,7E+06	5,0E+08	1,2E+08	1,7E+08	3,3E+09
Sn-126	9,9E+06	4,6E+06	3,4E+07	1,1E+05	7,4E+05	1,7E+05	1,8E+05	4,0E+06
Sr-90	3,5E+12	1,4E+10	1,7E+11	4,0E+06	1,3E+10	1,7E+09	1,0E+09	9,3E+11
Tc-99	7,4E+09	3,4E+09	2,5E+10	8,6E+07	8,3E+08	1,3E+08	1,1E+08	1,2E+10
Zr-93	4,9E+08	2,3E+08	1,6E+09	5,7E+06	2,7E+06	6,1E+05	3,5E+05	1,5E+07
Zr-95	1,7E+08	7,8E+06	7,1E+07	0	0	4,5E+04	0	1,7E+07

5 BETRACHTUNG DER UNSICHERHEITEN DES RADIONUKLIDINVENTARS

5.1 ANNAHMEBEDINGUNGEN FÜR DAS ERAM

Die Erfassung und Endlagerung der radioaktiven Abfälle im ERAM erfolgte bis 1991 nach Festlegungen in der Dauerbetriebsgenehmigung und in Fachbereichstandards (hier: TGL 190-921/01 bis 05). Danach bestanden nur allgemeine Anforderungen an die Deklaration von Radionuklidinventaren. Gemäß TGL 190-921/01 waren die in den Abfällen enthaltenen Radionuklide unter Angabe der zugehörigen Aktivität in Übergabe-/ Übernahmeprotokollen anzugeben. Radionuklidspezifische Aktivitäten für die Abfälle aus den Kernkraftwerken Greifswald und Rheinsberg wurden aus der Gesamtaktivität berechnet. Sie basierten auf einem ermittelten Radionuklidvektor gut messbarer Beta-/Gamma-Strahler (Cs-137, Cs-134, Co-60, Co-58 und Mn-54), der regelmäßig radiochemisch und gammaspektrometrisch überprüft und bei Bedarf aktualisiert wurde. Die genannten Radionuklide wurden in den Übernahme-/ Übergabeprotokollen dokumentiert und später vom ERAM in das ERAPROT [2-5] übernommen. Radionuklide, die von Bedeutung für die Langzeitsicherheit sind (wie z. B. Alpha-Strahler), wurden wegen des Fehlens geeigneter Messmethoden bzw. Messtechnik in den KKW-Abfällen nicht bestimmt.

5.2 AKTIVITÄTSANGABEN

Die Aktivitätsangaben der Abfalllieferer zu einzelnen Radionukliden wurden im Laufe der Einlagerung präzisiert. Bis 1982 wurden in der Regel nur Gesamtaktivitäten deklariert. Von 1982 bis 1984 wurden die Aktivitäten überwiegend für die vier Halbwertszeitgruppen ($t_{1/2} < 1a$, $1a < t_{1/2} < 10a$, $10a < t_{1/2} < 50a$, $t_{1/2} > 50a$) angegeben, gelegentlich auch schon für konkrete Radionuklide. Später wurden in den Übergabe-/ Übernahmeprotokollen auf der Grundlage von Messungen bzw. anhand von Schätzungen leicht messbare Radionuklide von den Abfallverursachern deklariert.

Die radionuklidspezifischen Aktivitätsangaben in den Übergabe-/Übernahmeprotokollen für Abfälle aus den Kernkraftwerken (Cs-137, Cs-134, Co-60, Co-58, Ag-110m und Mn-54 sowie Fe-59, Cr-51) basierten wie oben beschrieben auf einem ermittelten Nuklidvektor, der regelmäßig radiochemisch und gammaspektrometrisch überprüft wurde. Bei Abfallverursachern aus dem Bereich der Anwendung und Produktion von Radionukliden (APR) wurden die Aktivitätsangaben auf der Basis von Messungen, Schätzungen oder durch Berechnungen wie z. B. Abklingen oder Bilanzierungen vorgenommen. Mitunter wurden für umschlossene Strahlenquellen auch die Aktivitätsangaben aus den Zertifikaten ohne Berücksichtigung des Abklingens übernommen, was letztlich als konservativ angesehen werden kann.

Bei flüssigen Abfällen (Verdampferkonzentrate) wurden zusätzlich zu den Angaben der Verursacher stichprobenartige Aktivitätsbestimmungen im ERAM durchgeführt.

Vom Erfassungsdienst des Endlagers ("Abholdienst") erfolgte eine "Plausibilitätsprüfung" der Unterlagen zu den angemeldeten Abfällen anhand bereits vorliegender Abfalldaten der jeweiligen Abfalllieferer. Verfahren und Genauigkeit zur Bestimmung der Aktivität der Radionuklide seitens der Abfallverursacher waren im Strahlenschutzgenehmigungsverfahren festgelegt. Die Übergabe-/Übernahmeprotokolle selbst enthielten keine Hinweise darauf, wie die Radionuklidaktivitäten bestimmt wurden. Dieses war in den Übergabe-/ Übernahmeprotokollen auch nicht gefordert. Insofern kann hier keine konkrete Aussage zur Genauigkeit der Aktivitätsangaben getroffen werden.

Die Daten der Einlagerungsdokumente wurden ab 1991 rückwirkend rechnergestützt im ERAM erfasst. Zu diesem Zweck wurde von DBE das Datenbanksystem ERAPROT entwickelt. Neben der reinen Datenerfassung wurden im ERAPROT auch einige Ergänzungen der von den Verursachern gemachten Aktivitätsangaben vorgenommen. Diese Ergänzungen des Rohdatenbestandes umfassten Aktivitätskorrekturen, die auf nachträglichen Recherchen und Plausibilitätsbetrachtungen beruhten, und Extrapolationen aus den vorliegenden Angaben zur Nuklidzusammensetzung.

5.3 ANFORDERUNGEN AN DIE GENAUIGKEIT DER ANGABEN

Bezüglich der Fehlerbetrachtung existierten keine konkreten Anforderungen und Bewertungsmaßstäbe. Zur Anforderung an die Genauigkeit der Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen hieß es dazu im Fachbereichsstandard TGL 190-921 Blatt 02 (Feste Abfälle, Abfallart A1, Strahlenschutzgruppen S1, S2):

„NICHTZULÄSSIGE BESCHAFFENHEIT:

- Aktivitätskonzentration: β -/ γ -Strahler $> 4,0 \text{ GBq/m}^3$ (S1)
 β -/ γ -Strahler $> 40,0 \text{ GBq/m}^3$ (S2)

Die Aktivitätskonzentration ist durch Abschätzung zu ermitteln (Schätzfehler $\pm 50 \%$).

Im Fachbereichsstandard TGL 190-921 Blatt 03 (Feste Abfälle, Abfallart A1, Strahlenschutzgruppe S3, S4, S5) hieß es weiter:

„NICHTZULÄSSIGE BESCHAFFENHEIT:

- Aktivitätskonzentration: β -/ γ -Strahler $> 400,0 \text{ GBq/m}^3$ (S3)
 β -/ γ -Strahler $> 4,0 \text{ TBq/m}^3$ (S4)
 β -/ γ -Strahler $> 40,0 \text{ TBq/m}^3$ (S5)

Die Aktivitätskonzentration ist unter Beachtung eines zulässigen Fehlers von $\pm 10 \%$ zu ermitteln.

Die Aktivitätskonzentration ist neben der Ortsdosisleistung eine Größe, die primär der Zuordnung des einzulagernden Abfalls zu den Strahlenschutzgruppen und damit der Festlegung der ggf. zu verwendenden Abschirmung sowie der geeigneten Einlagerungstechnologie im ERAM diene.

5.4 PRODUKTKONTROLLE

Die Kontrolle der Einhaltung der Annahmebedingungen von radioaktiven Abfällen im ERAM erfolgte für den Einlagerungszeitraum vor 1991 gemäß der Betriebsteilanweisung BT-A 2/1.

Diese Betriebsteilanweisung (BT-A) regelt als Bestandteil der Gesamtbetriebsvorschrift die Organisation der Kontrolle der Einhaltung der Annahmebedingungen von radioaktiven Abfällen und Bindemitteln im ERAM. In Punkt 1 dieser BT-A wird darauf verwiesen, dass die Annahmebedingungen in der TGL 190-921 festgelegt sind.

Die Kontrolle der Einhaltung der Annahmebedingungen ist in Arbeitsvorschriften geregelt, die an dieser Stelle nur genannt, nicht aber einzeln ausgeführt werden. Inhalt und Umfang der Kontrollen sind aus der BT-A 2/1 nicht zu entnehmen.

Aus der Dokumentation zur Erfüllung der Auflage ERA 4/86 wurde die Abfallkontrolle wie folgt beschrieben:

Die Abfallkontrolle erfolgte als Ausgangskontrolle beim Abfalllieferer und als Eingangskontrolle im ERAM. Die Ausgangskontrolle wurde von den Großabfalllieferern (KKW Greifswald, KKW Rheinsberg und ZfK Rossendorf) selbst durchgeführt. Bei Kleinanwendern erfolgte die Ausgangskontrolle bei der Abholung (Erfassungsdienst) durch den Abfuhrbeauftragten des ERAM als Dosisleistungsmessung und ggf. als Kontaminationskontrolle. Die Eingangskontrolle im ERAM verlief im Wesentlichen als Stichprobenkontrolle. Sie beinhaltete Dosisleistungsmessungen, Sichtkontrollen an geöffneten Fässern und Feststellung der Oberflächenkontamination. An flüssigen Abfällen wurden ferner stichprobenartig chemische Analysen, gammaskopimetrische Messungen und Tritiumbestimmungen vorgenommen. Für alle eingehenden Abfälle wurde die Übereinstimmung der Angaben auf den Transportdokumenten mit der Lieferung für einfach festzustellende Angaben wie Stückzahl, äußeres Strahlungsfeld und Verpackungsart überprüft. Die Ausgangskontrolle bei den Großabfalllieferern sollte teilweise die Eingangskontrolle im Endlager ergänzen.

Die beschriebene Eingangskontrolle beschränkte sich im Wesentlichen auf dosimetrische Kontrollen. Die Eingangskontrolle im ERAM war nur bedingt in der Lage, Verstöße gegen die Annahmebedingungen festzustellen.

5.5 AUSGANGSKONTROLLEN

Neben der Dokumentation in den Übernahme-/Übergabeprotokollen und den Eingangskontrollen im ERAM wurden Ausgangskontrollen bei den Abfallverursachern gefordert. Zu den Aufgaben des Endlagerers bei der Übernahme/ Übergabe der radioaktiven Abfälle gehörte u. a. die Teilnahme an der Ausgangskontrolle der Versandstücke vor der Beladung. Der Ablieferungspflichtige hatte sicherzustellen, dass der ordnungsgemäße Zustand der Verpackungen und des Inhalts kontrolliert werden konnte.

Die Ausgangskontrolle wurde von den Hauptabfallverursachern (KKW Greifswald, KKW Rheinsberg und ZfK Rossendorf) selbst durchgeführt. Bei Kleinanwendern erfolgte die Ausgangskontrolle bei der Abholung (Erfassungsdienst) durch den Abfuhrbeauftragten des ERAM als Dosisleistungsmessung und ggf. als Kontaminationskontrolle.

Messtechnische Voraussetzungen für Ausgangskontrollen im Vorfeld bestanden bei den Kernkraftwerken (Greifswald und Rheinsberg), ZfK Rossendorf sowie bei Verursachern aus dem Bereich der Anwendung und Produktion von Radionukliden, die gem. § 34 der DB zur VOAS für den Umgang mit radioaktiven Stoffen in die Laborklassen II und I eingestuft wurden und eine dementsprechende Erlaubnis besaßen, wie das Zentralinstitut für Isotopen- und Strahlenforschung (ZfI) Berlin-Buch, ZfI Leipzig, Zentralinstitut für Werkstoffforschung und die Karl-Marx-Universität Leipzig.

5.5.1 Kernkraftwerke

Die Methoden zur Ausgangskontrolle wurden für das Kombinat Kernkraftwerke „Bruno Leuschner“ z. B. in dessen P-Anweisung Nr. 6/89 festgelegt. In diesem Dokument wird die Ausgangskontrolle für

- niedrigaktive feste Abfälle (A1/S1 bis S2),
- mittelaktive feste Abfälle A1/S3,
- flüssige radioaktive Abfälle A2/S1 bis S2 und
- verfestigte Eindampfrückstände A1/S1 bis S3

geregelt.

- **Feste Abfälle A1/S1 bis S3**

Messung der Gamma-Dosisleistung

Diese Messung hatte in 10 cm Abstand von der unabgeschirmten Oberfläche des 200-l-Fasses spiralförmig vom Deckel zum Boden hin zu erfolgen.

Einzusetzende Messgeräte:

RK-67 (Polen) mit Auslösezählrohr, Messunsicherheit: $< \pm 15 \%$

VA-J-15 (DDR) mit Ionisationskammer, Messunsicherheit: $< \pm 15 \%$

VA-J-100 (DDR) 2 Halogenzählrohre, Messunsicherheit: $< \pm 25$ bis 40%

Kontaminationskontrolle

Die abnehmbare Beta-Kontamination war durch Wischtestnahme auf die Einhaltung des Grenzwertes von 5 kBq/m^2 zu überprüfen. Ausgewertet wurden die Wischtests mit dem Strahlungsmessgerät 20 046 (DDR).

Aktivitätsbestimmung

Die Gesamtaktivität wurde indirekt durch Messung der Gamma-Dosisleistung bestimmt. Dazu waren jeweils 4 Messungen mit dem Messgerät RK-67 durchzuführen.

Aus der Gesamtaktivität wurden daraus auf der Basis eines ermittelten Nuklidvektors die radionuklid-spezifischen Aktivitäten für Fe-59, Co-58, Co-60, Mn-54, Ag-110m, Cr-51, Cs-134 und Cs-137 berechnet. Die Nuklidverhältnisse wurden regelmäßig radiochemisch und gammaspektrometrisch überprüft und bei Bedarf aktualisiert.

- **Flüssige Abfälle A2**

Kontaminationskontrolle

Die abnehmbare Beta-Kontamination war durch Wischtestnahme an den wiederverwendbaren Behältern PC 55 auf die Einhaltung des Grenzwertes von 5 kBq/m² zu überprüfen. Ausgewertet wurden die Wischtests mit dem Strahlungsmessgerät 20 046 (DDR).

Aktivitätsbestimmung

Aus dem EDR-Behälter wurde eine repräsentative Probe entnommen, die gammaspektrometrisch ausgewertet wurde:

- Einzelnuclidbestimmung (wie oben beschrieben außer Cr-51, zusätzlich H-3)
- Bestimmung der spezifischen Aktivität $A_{\text{spezif.}}$ als Summe der spezifischen Aktivitäten der einzelnen Radionuklide

$$A_{\text{spezif.}} = \sum A_{\text{spezif. RN}} \cdot V_{\text{PC55}}$$

- **Verfestigte Eindampfrückstände EDR_{st}**

Kontaminationskontrolle

Ab Strahlenschutzgruppe S3 wurde nur die Beta-Kontamination an den Außenflächen der PC bzw. FC kontrolliert.

Aktivitätsbestimmung

Aktivität der Einzelnuclide A_i : $A_i = \frac{A_{\text{spezif. } i} \cdot m}{\alpha}$

$A_{\text{spezif. } i}$	-	spezif. Aktivität der EDR _{st} des i-ten Radionuklids in MBq/l
m	-	Fassmasse; EDR _{st} -Masse in g
α	-	Gesamtsalzgehalt in g/l

Gesamtaktivität A: $A = \sum A_i$

5.5.2 ZfK Rossendorf

Bei den radioaktiven Abfällen aus dem ehemaligen ZfK Rossendorf ist davon auszugehen, dass die Radionuklide, mit denen umgegangen wurde, bekannt waren und der Abfall in den Übergabe-/Übernahmeprotokollen dementsprechend beschrieben war. Für Radionuklide, die messtechnisch nicht erfasst werden konnten, wurde die Aktivität zum Zeitpunkt der Übergabe an das ERAM berechnet.

Für feste Abfälle, die in 200-l-Fässern oder als sperriger Abfall übergeben wurden, wurde die Gamma-Dosisleistung gemessen.

Bei flüssigen Abfällen erfolgte die Aktivitätsbestimmung durch gammaspektrometrische Messungen.

Die Messgeräte, die im ZfK eingesetzt wurden, waren im Wesentlichen die gleichen wie in den Kernkraftwerken.

5.5.3 Abfallverursacher aus dem Bereich der Anwendung und Produktion von Radionukliden (APR)

Diese Verursacher hatten nur sehr begrenzte Umgangsgenehmigungen für ganz spezielle Radionuklide. Es wurde davon ausgegangen, dass die Angaben in den Übergabe-/Übernahmeprotokollen in verlässlicher Weise durch einfache Bilanzkontrollen erhalten wurden. Grobe Fehlangaben konnten bei Vorortkontrollen durch das ERAM bzw. durch die Inspektion des SAAS im Zeitraum zwischen Anmeldung und der Erfassung und Übergabe an das Endlager aufgeklärt werden. Gab es keine Messmöglichkeiten (z. B. bei der industriellen Verwendung von Strahlenquellen) wurden die Aktivitäten aus den Zertifikaten angegeben oder die aktuellen Aktivitäten daraus berechnet.

Anders verhielt es sich bei Anwendern, die mit offenen radioaktiven Stoffen Umgang hatten und in die Laborklassen I oder II eingeordnet waren. Für diese waren verschiedene Messungen vorgegeben:

- Ortsdosisleistungsmessungen
- Messungen der Oberflächenkontamination
- Messungen der Aktivitätskonzentration.

Dazu hatten sie funktionstüchtige und kalibrierte Messgeräte einzusetzen.

Für die Ermittlung der Dosis bzw. Dosisleistung konnten entsprechend der Messaufgabe folgende Geräte eingesetzt werden.

RK-67, RK-10, Rust (alle Polen), 27 015, 27003 oder VA-J-15 oder 27 060, 27 040, 27 005, VA-J-15,2A (alle DDR)

Bei den erforderlichen Oberflächenkontaminationsmessungen konnte der Anwender auf das Wischtestverfahren zurückgreifen, das zur Bestimmung der abnehmbaren Kontamination als ausreichend angesehen wurde. Die Wischtestfilter wurden mit vorhandenen Strahlungsmessgeräten ausgewertet. Kontaminationsmessungen in Flüssigkeiten wurden ebenfalls mit den vorhandenen Strahlungsmessgeräten vorgenommen.

Die Forderungen nach bestimmten Messgeräten in Abhängigkeit von der Laborklasse und dem geplanten Aktivitätsdurchsatz bzw. vom Arbeitsvorhaben wurden beim Genehmigungsverfahren gestellt. Im Genehmigungsverfahren wurde auch festgelegt, wie die staatliche Überwachung beim Anwender erfolgen sollte. Die Überprüfung der Messwerte des Anwenders erfolgte generell bei allen Anwendern, die mit offenen radioaktiven Stoffen Umgang hatten. Teilweise (z. B. Laborklasse III) wurden Stichprobenmessungen vorgenommen.

6 SCHLUSSBEMERKUNGEN

Die vorliegenden Ausführungen bauen auf dem von DBE/ERAM übergebenen Bericht "Computergestützte Protokollierung der vom Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben übernommenen und endgelagerten radioaktiven Abfälle" vom 11.10.1991 sowie auf einer detaillierten Aufstellung des Aktivitätsbestandes vom 18.02.1993 auf. Grundlage dieser Berichte waren die von den Abfallverursachern erstellten Übergabe-/Übernahmeprotokolle für das ERAM. Da die Abfälle mit unterschiedlicher Genauigkeit deklariert wurden, ist das Fehlen von Radionukliden nicht auszuschließen. Andererseits stammten kleinere Abfallmengen von einzelnen Abfallverursachern, die ihre Abfälle sehr umfassend deklarierten. Zum Teil wurden in den Übergabe-/Übernahmeprotokollen, z. B. bei Strahlenquellen, auch Ausgangsaktivitäten ohne Hinweis auf das Bezugsdatum angegeben. Demnach konnte das bisherige radionuklidspezifische Aktivitätsinventar nur so genau bestimmt werden, wie die Angaben der Abfalllieferer waren.

Darüber hinaus ist in den Angaben des ERAM zum Aktivitätsinventar die Bildung von Töchterradionukliden infolge des radioaktiven Zerfalls nicht berücksichtigt worden. Das Abklingverhalten wurde nur in der Weise betrachtet, dass die angegebenen Aktivitäten zum Zeitpunkt der Erfassung auf einen aktuelleren Wert (01.07.1991) umgerechnet wurden. Die gesamte Aktivität bezieht sich demzufolge auf die Mutternuklide.

Die vorliegenden Ausführungen hatten zum Ziel, das eingelagerte Aktivitätsinventar anhand neuerer vorliegender Angaben genauer zu bestimmen. Betrachtet wurden vorrangig KKW-Abfälle, da hierfür die meisten Daten vorhanden waren. Mit 80 bis 90 % des Gesamtvolumens und des Gesamtinventars stellten KKW-Abfälle auch den Hauptanteil der radioaktiven Abfälle in Morsleben dar.

Es wurden sowohl Radionuklide ausgewählt, die für die Langzeitsicherheit von Bedeutung sind und die in den Aufstellungen des ERAM für KKW-Abfälle nicht oder nur z. T. enthalten waren, als auch weitere, gemäß den Endlagerungsbedingungen von 1996 deklarationspflichtige Radionuklide. Dabei wurde zum größten Teil auf Abfalldaten radioaktiver Abfälle aus dem KKW Greifswald aufgebaut, die seit dem 13.01.1994 bis zum 30.09.1996 im ERAM eingelagert bzw. freigegeben wurden. Diesen Abfalldaten lagen zum einen radiochemische Analyseergebnisse, zum anderen Korrelationsrechnungen mit dem Programm AVK-ELA zugrunde. Die Analyseergebnisse von Verdampferkonzentrationen ließen seitens Siemens KWU die Schlussfolgerung zu, dass die bei den Untersuchungen ermittelten Aktivitätskonzentrationen in der Bandbreite der bisherigen Untersuchungen von Verdampferkonzentrationen aus KWU-Anlagen liegen.

Die aus dem ehemaligen ZfK Rossendorf eingelagerten Abfallgebinde wurden hinsichtlich eines abdeckenden Nuklidvektors verifiziert und die angegebenen Radionuklidinventare auf Vollständigkeit im Hinblick auf die in das ERAM verbrachten Abfallströme überprüft. Ausgehend von Informationen, von recherchierten Angaben zu Radionukliden in den Abfällen aus alten Dokumenten, von 1995 erstellten Nuklidvektoren und von deklarierten Radionukliden in den nach 1994 endgelagerten Abfällen wurden fehlende Radionuklide ergänzt oder Aktivitäten korrigiert. Es sind dabei durchschnittlichen Aktivitäten der Radionuklide über den gesamten Einlagerungszeitraum 1981 bis 1990 angenommen worden. Die Ergänzungen bzw. Präzisierungen erfolgten in der Weise, dass von einem abdeckenden Gehalt der betreffenden Radionuklide ausgegangen werden kann.

Als Ergebnis der Ausarbeitungen wurden für die deklarationspflichtigen und weiteren Radionuklide Übersichten erstellt, differenziert nach Einlagerungshohlräumen und Jahren.

Zusammen mit den in [2], [4], [5] und [17] enthaltenen Aufstellungen des ERAM ergibt sich ein Überblick über ein im Endlager Morsleben realistisches Radionuklidinventar, das als Grundlage für weitere Modellrechnungen dienen kann. Dennoch handelt es sich auch hierbei nur um Abschätzungen.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Sicherheitsanalyse des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM); GRS-A-1817 (März 1991)
- [2] Schulz, H.; Computergestützte Protokollierung der vom Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben übernommenen und endgelagerten radioaktiven Abfälle, Morsleben, 11.10.1991
- [3] Schulz, H.; Computergestützte Protokollierung der vom Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben übernommenen und endgelagerten radioaktiven Abfälle, Morsleben, Revision 1 vom 17.02.1995
- [4] Schulz, H.; Computergestützte Protokollierung der vom Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben übernommenen und endgelagerten radioaktiven Abfälle, Morsleben, Revision 2 vom 01.03.1996
- [5] Schulz, H.; Computergestützte Protokollierung der vom Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben übernommenen und endgelagerten radioaktiven Abfälle, Morsleben, Revision 3 vom 19.03.1998
- [6] Bericht über die Messung von 3 plutoniumhaltigen Rauchmeldern, Forschungszentrum Jülich GmbH (KFA) ICT-PKS, 25.11.1992
- [7] Naumann, M., Wels, C.; Strahlenschutzprobleme mit umschlossenen Pu-Strahlenquellen, Report SAAS-298, 1982
- [8] Herzog, C., Radionuklidinventar der im ERAM eingelagerten radioaktiven Abfälle aus dem ehemaligen ZfK Rossendorf, Dresden, 27.05.2003
- [9] Schreiben des VKTA Rossendorf, Dr. Schumann, 08.11.1994
- [10] Ermittlung des Radium-Inventars im Abbau , Südfeld 4. Sohle, Dr. Salewski, TÜV Nord e. V., 27.04.1995
- [11] Telex des SAAS Lohmen vom 21.11.1983 an das ERAM
- [12] Übergabeprotokoll vom 29.11.1984 vom ERAM an die NVA Storkow
- [13] Bericht S 531/92/28 der Siemens AG, Bereich Energieerzeugung (KWU) "Radiochemische Untersuchungen von Verdampferkonzentrat-Mischproben (Block 1-4 und Block 5)" vom 02.10.1992
- [14] Bericht über die Analyse von 5 Verdampferkonzentratlösungen aus dem Kernkraftwerk Greifswald, ICT/ PKS, 22.01.1992
- [15] Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle und Maßnahmen zur Produktkontrolle radioaktiver Abfälle, Endlager Morsleben, Teil 1: Endlagerungsbedingungen, Stand: August 1996
- [15a] Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle und Maßnahmen zur Produktkontrolle radioaktiver Abfälle, Endlager Morsleben, Teil 1: Endlagerungsbedingungen, Stand: September 1993
- [16] Johannsen, K.-H. u.a.;" Einschätzung des Leistungsbetriebes der Rotationsdünnschichtverdampferanlage des KKW "Bruno Leuschner" der Blöcke 1-4"; 11/88 , DFA.5096.88F
- [17] Schulz, H.; Aufstellungen zum Aktivitätsbestand im ERA Morsleben, 17.02.1993
- [18] ISTEK, Aktivitätsbestimmung in radioaktiven Abfällen aus Leichtwasserreaktoren, ISTEK-A-064, Revision 1, Februar 1995