

GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit

Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachtanlage Asse

GSF-Auftrags-Nr. 31/179 294/99

FE Nr. 76277

Abschlußbericht

August 2002

Dr. U. Gerstmann
Institut für Strahlenschutz

H. Meyer, M. Tholen
Forschungsbergwerk Asse

Exemplar für BMBF und BMU

Dieser Bericht ist im Auftrag des GSF-Forschungsbergwerkes Asse erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt oder Dritten zugänglich gemacht werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Vorgehensweise bei der Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars.....	3
2.1	Allgemeines.....	3
2.2	Datenbestand.....	3
2.3	Datenauswertung	10
2.3.1	Allgemeine Vorgehensweise	10
2.3.2	Abliefererspezifische Vorgehensweise.....	17
2.3.2.1	Herkunft der Abfälle.....	17
2.3.2.2	Abfälle des Forschungszentrums Karlsruhe.....	18
2.3.2.3	Abfälle aus Kernkraftwerken.....	33
2.3.2.4	Abfälle anderer Ablieferer.....	39
3	Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar.....	42
4	Unsicherheitsbetrachtung zum nuklidspezifischen Aktivitätsinventar	53
4.1	Allgemeines.....	53
4.2	Unsicherheiten der Eingangsdaten	53
4.3	Unsicherheiten der Auswertemethodik	55
4.4	Schwankungsbreite des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars.....	57
5	Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar für den Nachweis der Langzeitsicherheit	59
6	Literatur und sonstige Quellen	64
	Anhang	66
	Hinweise zur Datenbank ASSEKAT.....	66

Exemplar für BMBF und BMU

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Die für die Bestimmung des Nuklidinventars wichtigsten Tabellen der Datenbank ASSEKAT	4
Tabelle 2.2:	Ablieferer mit Anzahl und Aktivität (in Ci, bezogen auf den jeweiligen Einlagerungszeitraum) der in der Schachtanlage Asse eingelagerten Gebinde.	6
Tabelle 2.3:	Häufigkeit der Anzahl der pro Charge gemachten Nuklidangaben.....	8
Tabelle 2.4:	Nuklidbezeichnungen in der Tabelle NUKLIDE mit der Anzahl der Nennungen (nur Nuklide mit mehr als 100 Nennungen).....	9
Tabelle 2.5:	Kernbrennstoff-Bezeichnungen und Anzahl der Nennungen.....	10
Tabelle 2.6:	Zur Aktivitätsberechnung benutzte Berechnungsparameter.....	11
Tabelle 2.7:	Berücksichtigte Aktivitätsaufbaureaktionen vom Ausfertigungstag der Begleitliste auf den Stichtag der Aktivitätsberechnung.....	14
Tabelle 2.8:	Generelle Vorgehensweise bei der Aktivitätsberechnung anhand bestimmter Abfallmerkmale	15
Tabelle 2.9:	WAK-Kampagnen mit Abbrand der Brennelemente, Kampagnenzeiten sowie Anzahl und Gesamtaktivität der zugehörigen Gebinde	21
Tabelle 2.10:	Uran-Nuklidvektoren der WAK-Kampagnen in Bq/g Uran [L5, 6].....	22
Tabelle 2.11:	Plutonium-Nuklidvektoren der WAK-Kampagnen in Bq/g Plutonium [L5, 6]	22
Tabelle 2.12:	Nuklidvektoren (Bq pro Bq Cs-137, bezogen auf den jeweiligen Kampagnenstichtag) der WAK-Kampagnen [L5]	23
Tabelle 2.12:	Fortsetzung: Nuklidvektoren (Bq pro Bq Cs-137, bezogen auf den jeweiligen Kampagnenstichtag) der WAK-Kampagnen[L5]	24
Tabelle 2.13:	Isotopenzusammensetzung (Massenprozent) des Urans der WAK-Kampagnen	29
Tabelle 2.14:	Plutoniummassen in den Hauptabfallströmen der WAK nach [L6]	30
Tabelle 2.15:	Zuordnung der plutoniumhaltigen Abfallarten zu den vier Hauptabfallströmen der WAK [L6]	31
Tabelle 2.16:	Vergleich der prozentualen Plutoniummassenverteilung in den Hauptabfallströmen der WAK nach der neuen und alten Deklaration	31
Tabelle 2.17:	Korrekturfaktoren zur Neuverteilung des Plutoniums auf die vier Hauptabfallströme der WAK	32
Tabelle 2.18:	Zuordnung der KKW-Abfallarten zu den vier übergeordneten Abfallgruppen	34
Tabelle 2.19:	Aktivitätsinventar der KKW-Referenzgebäude [L9]	36
Tabelle 2.20:	Nuklidvektoren (in Bq/Bq Gesamtaktivität) der KKW-Abfallgruppen [L9]	37
Tabelle 3.1:	Ra-226-, Th-232-, Uran- und Plutoniummassen in der Schachtanlage Asse (bezogen auf den 01.01.1980).....	45

Tabelle 3.2:	Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Schachtanlage Asse (in Bq, bezogen auf den 01.01.1980).....	46
Tabelle 3.2:	Fortsetzung: Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Schachtanlage Asse (in Bq, bezogen auf den 01.01.1980)	47
Tabelle 3.3:	Aktivitäten, die aufgrund mangelnder Informationen zur Nuklidzusammensetzung nicht ausgewertet werden konnten	48
Tabelle 4.1:	Unsicherheiten der Kernbrennstoffmassen in den Abfallströmen der WAK [L10].....	54
Tabelle 4.2:	Berechnungsparameter, die zur Abschätzung der Unsicherheit des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars variiert wurden.....	55
Tabelle 4.3:	Berechnungsparameter, deren Variationen nennenswerten Einfluss auf die aufgeführten Nuklide in der MAW-Kammer und/oder in den LAW-Kammern haben.....	57
Tabelle 5.1:	Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar für den Nachweis der Langzeitsicherheit der Schachtanlage Asse (in Bq, bezogen auf den 01.01.1980)	60
Tabelle 5.1:	Fortsetzung: Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar für den Nachweis der Langzeitsicherheit der Schachtanlage Asse (in Bq, bezogen auf den 01.01.1980)	61
Tabelle 5.2:	Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar für den Nachweis der Langzeitsicherheit der Schachtanlage Asse (in Bq, bezogen auf den 01.01.2003)	62
Tabelle 5.2:	Fortsetzung: Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar für den Nachweis der Langzeitsicherheit der Schachtanlage Asse (in Bq, bezogen auf den 01.01.2003)	63

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Beispielhafte Begleitliste hinsichtlich der Mehrdeutigkeit von Nuklidangaben	7
Abbildung 2.2:	Begleitliste mit der größten Anzahl an Nuklidangaben	8
Abbildung 2.3:	Beispiel einer Begleitliste, deren Angaben eine "manuelle" Auswertung erfordert	16
Abbildung 2.4:	Herkunft der in der Schachanlage Asse eingelagerten Aktivitäten (deklarierte Aktivitäten der Einlagerungsdokumente).....	18
Abbildung 2.5:	Beispielhafte Begleitliste für LAW des FZK.....	20
Abbildung 2.6:	Darstellung des zeitlichen Verlaufs der WAK-Kampagnen und der MAW-Einlagerungsphase in der Schachanlage Asse.....	25
Abbildung 2.7:	Laufzeiten verschiedener Forschungs- und Kernkraftwerksreaktoren (hellblau = Forschungs-/Versuchsreaktoren, rot = SWR, grün = DWR).....	34
Abbildung 2.8:	Aktivitätsgehalte der vier Abfallgruppen, aufgeschlüsselt nach SWR, DWR und unbestimmten Reaktortypen (URT)	38
Abbildung 2.9:	Beispielhafte Begleitliste für glühstrumpfhaltige Abfälle	40
Abbildung 2.10:	Beispielhafte Begleitliste für Uran/Thorium-Abfälle	41
Abbildung A.1:	Verknüpfungen (auszugsweise) der ISS-Tabellen untereinander und mit der Tabelle Chargen.....	66
Abbildung A.2:	Entwurfsansicht der Tabelle ISS NUKLIDE.....	67

Exemplar für BMBWF/BMW

Exemplar für BMBF und BMU

Abkürzungsverzeichnis

ADB	Abteilung Dekontaminationsbetriebe (heute: HDB)
AEG	Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft
AVK	Abfallfluss-Verfolgungs- und Produkt-Kontrollsystem
AVR	Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor
BBG	Kernkraftwerk Biblis
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
Bq	Becquerel
Ci	Curie (1 Ci = 3,7E+10 Bq)
DWR	Druckwasserreaktor
ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FB Asse	Forschungsbergwerk Asse
FRF	Forschungsreaktor Frankfurt
FR 2	Forschungsreaktor 2 (FZK)
FRM	Forschungsreaktor München
FZJ	Forschungszentrum Jülich (früher: KFA)
FZK	Forschungszentrum Karlsruhe (früher: GFK/KFK)
GFK	Gesellschaft für Kernforschung (heute: FZK)
GKN	Gemeinschaftskraftwerk Neckarwestheim
GKSS	Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau u. Schifffahrt mbH (heute: GKSS - Forschungszentrum Geesthacht)
GNS	Gesellschaft für Nuklearservice
GNT	Gesellschaft für Nukleartransporte
GSF	Gesellschaft für Strahlenforschung (heute: GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit)
HDB	Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (früher: ADB)
HDR	Heißdampfreaktor Großwelzheim/Main
HMI	Hahn-Meitner Institut
ISS	Institut für Strahlenschutz (des GSF - Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit)
KFA	Kernforschungsanlage Jülich (heute: FZJ)
KFK	Kernforschungszentrum Karlsruhe (heute: FZK)
KKB	Kernkraftwerk Brunsbüttel
KKN	Kernkraftwerk Niederaichbach
KKS	Kernkraftwerk Stade

KKU	Kernkraftwerk Unterweser
KKW	Kernkraftwerk
KRB A	Kernkraftwerk Gundremmingen Block A
KRT	Kernreaktorteile GmbH, Großwelzheim
KWL	Kernkraftwerk Lingen
KWO	Kernkraftwerk Obrigheim
KWU	Kraftwerk Union
KWW	Kernkraftwerk Würgassen
LAW	Schwachradioaktiver Abfall
MAW	Mittelradioaktiver Abfall
MPI	Max-Planck-Institut
MZFR	Mehrzweckforschungsreaktor
Nukem	Nuklear-Chemie und -Metallurgie GmbH, Hanau
PAI	Programm zur Aktualisierung des Asse-Inventars
RBÜ	Reaktor Brennelemente Union
RWE	Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk
SWR	Siedewasserreaktor
TN	Transnuklear GmbH, Hanau
TNH	Transporte und Dienstleistungen Abwicklungsgesellschaft mbH, Hanau
U-nat	Uran natürlicher Isotopenzusammensetzung
URT	Nuklidvektor für KKW-Abfälle unbekanntem Reaktortyp
VAK	Versuchsatomkraftwerk Kahl
VBA	Visual Basic for Applications
VBA	Verlorene Betonabschirmung
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe

1 Einleitung

In die Schachtanlage Asse wurden von 1967 bis 1978 im Rahmen großtechnischer Versuche zur Entwicklung und Erprobung von Einlagerungsmethoden 125.787 Gebinde mit radioaktiven Abfällen mit einer von den Ablieferern deklarierten Gesamtaktivität (zum Zeitpunkt der Einlagerung) von $2,11E+05$ Ci eingelagert. Die mittelradioaktiven Abfälle wurden in 1.293 Stück 200-l-Fässern in eine MAW-Kammer (8a/511m) eingelagert. Zusätzlich wurden 8 Stück 200-l-Fässer mit schwachradioaktiven Abfällen auf Grund von Funktionsprüfungen an Abschirmbehältern ebenfalls in die Kammer 8a/511m eingelagert, so dass sich insgesamt 1.301 Gebinde in der MAW-Kammer befinden. Bei den in die LAW-Kammern eingelagerten Gebinden mit schwachradioaktiven Abfällen (124.486 Stück) handelt es sich überwiegend um Fässer mit Volumina zwischen 100 und 400 Litern oder verlorene Betonabschirmungen (VBA). Mit den 8 Stück 200-l-Fässern in der MAW-Kammer beläuft sich die Anzahl der insgesamt eingelagerten LAW-Gebinde auf 124.494 Stück.

Bis Juli 1971 wurden LAW-Gebinde geringer Anzahl und Gesamtaktivität über die ersten vier Einlagerungsphasen eingelagert. Angaben über die in dieser Zeit eingelagerten Abfälle sind in Standardfragebögen oder Fassbegleitkarten dokumentiert, die vom jeweiligen Ablieferer vor der Anlieferung der Abfälle ausgefüllt wurden. Ab November 1971 erfolgte die Einlagerung der schwachradioaktiven Abfälle im großtechnischen Maßstab nach den jeweils gültigen Annahmebedingungen. Die Einlagerung der mittelradioaktiven Abfälle erfolgte nach den Annahmebedingungen vom September 1972.

In den Annahmebedingungen für die Einlagerung radioaktiver Abfälle in die Schachtanlage Asse wurden u. a.

- Art und Beschaffenheit der Abfälle,
- Verpackung der Abfälle,
- Kennzeichnung der Behälter,
- zulässige Aktivität pro Gebinde

festgelegt. Nuklidspezifische Aktivitätsangaben, mit Ausnahme der Kernbrennstoffe und einiger weniger Alpha-Strahler, wurden damals nicht für notwendig angesehen und deshalb auch nicht abgefordert. In vielen Fällen wurden daher nur die Strahlerarten (α , β , γ) angegeben. Aus den deklarierten Aktivitäten der eingelagerten Abfälle wurde nach Beendigung der Einlagerung das o. g. Gesamtaktivitätsinventar von $2,11E+05$ Ci ermittelt.

Ziel und Aufgabe der vorliegenden Nachbearbeitung war es, aus der vorliegenden Dokumentation und dem bekannten Gesamtaktivitätsinventar ein nuklidspezifisches Aktivitätsinventar je Einlagerungskammer zu ermitteln, das für den Nachweis der Langzeitsicherheit herangezogen werden kann.

Dazu wurden die Einlagerungsdokumente systematisch ausgewertet und die Angaben zu den Abfällen in eine Datenbank aufgenommen [L1]. Neben der Erstellung eines Programms zur Auswertung des Datenbestandes wurden Recherchen bei den Abfallablieferern, Literaturrecherchen, Plausibilitäts- und Vollständigkeitsprüfungen der Eingangsdaten durchgeführt und diese Zusatzinformationen in eine Datenbank und ein Auswerteprogramm eingebunden. Auf Basis der in der Datenbank vorliegenden Informationen zu den Abfällen und dem bekannten Gesamtaktivitätsinventar wurde im Rahmen einer umfassenden Nacherhebung das entsprechende nuklidspezifische Aktivitätsinventar bestimmt. Unter Berücksichtigung der zugehörigen Schwankungsbreiten wurde ein nuklidspezifisches Aktivitätsinventar je Einlagerungskammer ermittelt, das als Grundlage für die zum Nachweis der Langzeitsicherheit erforderlichen Ausbreitungsrechnungen herangezogen werden kann.

Exemplar für BMBF und BMUB

2 Vorgehensweise bei der Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars

2.1 Allgemeines

Die Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars des ISS basieren auf der Datenbank ASSEKAT in der Version 7.0 vom 04.10.2000 und zusätzlichen Dokumenten des FB Asse. Nach deren Sichtung und Bewertung wurden einige Datensätze von Seiten des ISS ergänzt. Des weiteren wurden bei einer Reihe von Ablieferern Informationen eingeholt, sofern diese noch existierten und dazu in der Lage waren. Im folgenden Kapitel wird zunächst auf den Datenbestand des FB Asse eingegangen. Da die Details der Datenbank-Erstellung bereits dokumentiert sind [L1], werden hier primär die für die Aktivitätsbestimmung relevanten Aspekte hervorgehoben.

Alle Aktivitätsangaben in den Einlagerungsdokumenten sind in Curie angegeben. Um eine optimale Vergleichbarkeit zwischen den Aktivitätsangaben bei der Beschreibung der Vorgehensweise zur Bestimmung des Aktivitätsinventars und den Ausgangsdaten zu gewährleisten, wird in den folgenden Ausführungen in der Regel von der alten Einheit Curie Gebrauch gemacht. Die Aktivitäten in der Ergebnisdatenbank hingegen sind dem heutigen Stand entsprechend in Becquerel angegeben.

2.2 Datenbestand

Die Inhalte der in der Schachanlage Asse eingelagerten Abfallgebinde sind hauptsächlich durch Begleitlisten dokumentiert. Hinzu kommen Fragebögen der ersten vier Einlagerungsphasen, Kernbrennstoffmeldungen und Materialbegleitscheine des Forschungszentrums Karlsruhe. Aus den Eintragungen der Betriebsbücher des FB Asse konnten Einlagerungskammer und -zeitpunkt jedes Gebindes ermittelt werden. Die aufgeführten Dokumente waren die Basis für die Erstellung der Datenbank ASSEKAT.

Tabelle 2.1 enthält eine Aufstellung der wichtigsten Tabellen der Datenbank.

Tabelle 2.1: Die für die Bestimmung des Nuklidinventars wichtigsten Tabellen der Datenbank ASSEKAT

Tabelle	Informationsgehalt (Auszüge)
BEGLEITLISTEN	Ablieferer, Ausfertigungsdatum, Einlagerungsdatum der zugehörigen Abfallgebinde, Herkunft der Abfälle einer Charge
CHARGEN	Gebindeanzahl, mittlere Aktivität pro Gebinde, ID der/des zugehörigen Begleitliste/Fragebogens, Einlagerungskammer, Abfallart(en), Konditionierungsart, Strahler-Art ($\alpha/\beta/\gamma$)
NUKLIDE	Art und (sehr selten) Aktivität der Nuklide einer Charge
KERNBRENNSTOFFE	Art und Masse der Kernbrennstoffe einer Charge
RADIUM	vom FB Asse in Abstimmung mit dem ISS ermittelte Radiumaktivitäten einer Charge

Die möglichst originalgetreue Wiedergabe der Informationen der Einlagerungsdokumente war ein wichtiger Aspekt bei der Konzeption der Datenbank. Damit mit ASSEKAT die elektronische Datenauswertung erfolgen konnte, mussten in einigen Tabellen Daten ergänzt, korrigiert oder umstrukturiert werden. Um den ursprünglichen und den modifizierten Datenbestand unterscheiden zu können, wurden von einigen Tabellen (u. a. CHARGEN, BEGLEITLISTEN, KERNBRENNSTOFFE) Duplikate erstellt und mit dem Kürzel "-mod" erweitert. Nur in diesen Tabellen wurden vom FB Asse und vom ISS Änderungen und Ergänzungen gegenüber den Originaldaten vorgenommen. Der Erhalt der Originaldaten wurde auf diese Weise sichergestellt.

Kern der Datenbank ist die Tabelle CHARGEN. Gebinde, die in einer Lieferung als Abfallcharge an die Schachanlage Asse abgeliefert wurden und nach den zugehörigen Belegen die gleichen Merkmale (Abfallart, Aktivität, Dosisleistung, Verpackungsart, Einlagerungsdokument, Einlagerungskammer) hatten, wurden auch in der Datenbank in der Regel als eine Abfallcharge aufgenommen. Jeder Charge ist ein bestimmtes Einlagerungsdokument zugeordnet, das anhand seiner Identifikationsnummer (ID) eindeutig identifiziert werden kann und dessen Daten in der Tabelle BEGLEITLISTEN gespeichert sind. Liegen zu einer Abfallcharge weitere Angaben wie Kernbrennstoffmassen oder Einzelnuklide mit oder ohne Aktivitätsangaben vor, so sind diese in den entsprechenden Tabellen KERNBRENNSTOFFE bzw. NUKLIDE gespeichert. Die Tabelle CHARGEN umfasst über 19.000 Datensätze. In ihr sind auch die Angaben zur Abfallart gespeichert. Pro Charge sind bis zu sechs Angaben möglich, insgesamt wurden 600 verschiedene Abfallbezeichnungen genannt.

Die Tabelle RADIUM enthält die für bestimmte Abfallchargen vorab vom FB Asse in Abstimmung mit dem ISS ermittelten Radiumaktivitäten. Die Aktivitäten wurden unter Berück-

sichtigung von Abfallart, Behandlung etc. abdeckend abgeschätzt (s. Kapitel 6.6 in [L1]). Im Zuge der Datenbankauswertung wurden die in [L1] dokumentierten Radiumaktivitäten aufgrund neuerer Erkenntnisse geringfügig modifiziert.

Die Tabelle 2.2 enthält eine alphabetische Aufstellung aller in der Tabelle BEGLEITLISTEN vorkommenden Abfallablieferer, die aufgrund von Firmenumbenennungen und – zusammenschlüssen teilweise zusammengefasst sind, sowie die Gesamtzahl der abgegebenen Gebinde und die zugehörigen Aktivitäten, die sich aus der Summe der Produkte aus Gebindezahl und mittlerer Aktivität je Charge eines Ablieferers berechnen. Die Aktivitätsangaben beziehen sich auf den jeweiligen Einlagerungszeitpunkt; Angaben wie "ca.", "<" wurden als "=" bewertet.

Einige Firmen haben Abfälle verschiedener Abfallverursacher (Herkunft) abgeliefert. Dies betrifft vor allem Kernkraftwerksabfälle, die auch von den Firmen Transnuklear, GNS und Steag abgeliefert wurden, und Landessammelstellenabfälle. Für die radioaktiven Betriebsabfälle der Schachanlage Asse selbst sind keine Aktivitäten angegeben, da es sich um Sekundärabfälle von Dekontaminationsmaßnahmen an abgelieferten Gebinden handelt. Ihr Aktivitätsgehalt wird somit durch die Aktivitätsdeklarationen der übrigen Abfallgebände abgedeckt.

Nach den Annahmebedingungen der Schachanlage Asse waren die Ablieferer nicht verpflichtet, Einzelnuklide und deren Aktivitäten in den Abfallgebänden zu deklarieren. Ausnahmen galten nur für Kernbrennstoffe sowie für einige ausgewählte α -Strahler. Für dennoch gemachte Angaben gab es keine konkreten Vorgaben. Der daraus resultierende Freiraum hatte zwangsläufig Auswirkungen auf die Qualität des Datenbestandes von ASSEKAT. So befinden sich in der Tabelle NUKLIDE rund 35.000 Eintragungen mit rund 200 verschiedenen, teils mehrdeutigen oder nicht auswertbaren Nuklidbezeichnungen. Die Mehrdeutigkeit einiger Nuklidbezeichnungen besteht vor allem darin, dass gelegentlich statt konkreter Radionuklide nur Elemente (beispielsweise Co, Fe, C, I, Cs, P, Se) angegeben wurden. In diesen Fällen wurden den Elementen von Seiten des ISS Nuklide zugeordnet. Andere Bezeichnungen (beispielsweise "Spaltprodukte", "Uran-Spaltprodukte", "SP") wurden vereinheitlicht. Abbildung 2.1 zeigt eine hinsichtlich der Mehrdeutigkeit von Nuklidangaben beispielhafte Begleitliste. Unter den Nuklidbezeichnungen befinden sich aber auch einige Angaben (Thymidin, Ma, Sv, Ti-201), die selbst bei näherer Betrachtung keinem Radionuklid sinnvoll zugeordnet werden konnten.

Tabelle 2.2: Ablieferer mit Anzahl und Aktivität (in Ci, bezogen auf den jeweiligen Einlagerungszeitraum) der in der Schachanlage Asse eingelagerten Gebinde.

Ablieferer	Gebinde	Aktivität
Amersham-Buchler, Braunschweig	1833	2,44E+02
AEG-Telefunken, Fachgebiet Schnelle Reaktoren, Großwelzheim	587	6,43E+01
AEG-Kernenergieversuchsanlage, Großwelzheim	233	2,87E+01
Bundeswehr, Munster	236	2,15E+00
C. Conradty, Werk Grünthal	6	7,50E-02
Forschungsreaktor Garching (FRM)	260	8,62E+00
Forschungszentrum Jülich (FZJ), früher Kernforschungsanlage Jülich (KFA)	13325	3,32E+03
Forschungszentrum Karlsruhe (FZK), früher GFK bzw. KFK	61189	1,89E+05
Ges. f. Kernenergieverwertung in Schiffbau u. Schifffahrt, Geesthacht (GKSS)	1893	1,79E+03
Ges. f. Nuklearservice, Essen (GNS)	3550	1,55E+03
Ges. f. Nukleartransporte, Essen (GNT)	102	3,04E+00
GSF, Schachanlage Asse (Betriebsabfälle)	14	0,00E+00
GSF, Institut f. Strahlenbotanik, Hannover	121	2,14E+00
GSF, Neuherberg	5293	3,58E+03
Hahn-Meitner-Institut (früher: für Kernforschung), Berlin (HMI)	2909	2,47E+03
Farbwerke Hoechst, Frankfurt	376	1,32E+01
Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB)	809	2,35E+00
Kernkraftwerk Stade (KKS)	1399	5,58E+01
Kernkraftwerk Unterweser (KKU)	38	3,80E-04
Kernkraftwerk Gundremmingen (KRB)	3456	1,70E+02
Kernreaktorteile GmbH (KRT)	153	2,70E-01
Kernkraftwerk Lingen (KWL)	1285	1,93E+02
Kernkraftwerk Obrigheim (KWO)	5504	1,62E+03
Kraftwerk Union, Erlangen (KWU)	394	1,15E+02
Kraftwerk Union, Karlstein (früher Großwelzheim) (KWU)	1704	1,67E+02
Kernkraftwerk Würgassen (KWW)	4239	1,07E+02
Meß- u. Prüfstelle f. die Gewerbeaufsichtsverwaltung des Landes Hessen, Kassel	333	3,15E+01
Nuklear-Chemie u. -Metallurgie (Nukem)	1346	6,82E+01
Reaktor-Brennelement Union (RBU)	1523	8,12E+01
Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk (RWE)	1208	6,33E+01
Siemens, Forschungslaboratorium, Erlangen	41	1,36E+01
Steag Kernenergie, Essen	3025	3,83E+03
Transnuklear, Hanau	6993	2,37E+03
Versuchatomkraftwerk Kahl (VAK)	410	9,19E+00
Summe:	125787	2,11E+05

002167

Begleitliste
Zur Lagerung schwachradioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse in Remlingen
der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH · München

weiß - verbleibt bei der GSF
rot - erhält Ablieferer mit Ablieferungstermin zurück
gelb - erhält der Ablieferer als Bestätigung nach Ablieferung

200 l Behälter				Beschreibung der Abfallstoffe			Masse und Art der Kernbrennstoffe	mittlere Aktivität Ci/Behälter	Maximale Dosisleistung (mrem/h)	
Lfd. Nr.	Art*)	Abfallkategorie**)	Dosisleistungskategorie***)	Art des radioakt. Abfalls (z. B. Filter, Papier, verfestigte Fällschlamm)	Art der Behandlung (z. B. Bindemittel)	Nuklide (erstzweifache Angabe ob Alpha-Beta-Gammastrahler)			an der Außenseite	in 1 m Abstand
6901	RE	A	1	Laborabfälle	in verlorene Betonabfälle	Sp, Fe, Co				
6907						Po-210	3,240	100	10	
6908	RS	A	1	"	Schirmungen einbetoniert	β , γ	1,100	25	3	
6909	RS	C	1	verfestigte Schlämme	Filterpatronen	H^3, C, Co, Sp	2,200	45	2	
6910	RE	A	1	"	"	$\beta + \gamma$	5,000	100	10	
6911	RS	C	1	verfestigte Schlämme	Diaton Zement Vermeculite	C, Se, P, $H^3, Sp, Rb, H, U-nat, Th-nat$				
6970							0,003	NE	-	
6971	BB	A	1	Filter	Beton	$\beta + \gamma$				
6972							0,001	NE	-	
6973	BB	A	1	Laborabfälle	"	C^{14}	0,001	NE	-	
6974	RS	B	1	Metallteile	"	$\beta + \gamma$	0,001	3	NE	

Hiermit wird erklärt:
1. Die »Bedingungen für die Lagerung schwachradioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH · München« sind eingehalten.
2. Die Beförderung erfolgt durch: _____
Bundesbahn
Strahlenschutzverantwortlicher: _____
Anschrift des Ablieferers: _____
Kernforschungsanlage Jülich GmbH, TD-DE/KT
517 Jülich, Postfach 365
Telefon 02461 61 5288
Jülich, den 28.2.1975
Eventl. Rückfragen an: _____
Gewünschter Ablieferungstermin: 10.3.75

Abkürzungen:
*) BT = Blechtrommel
BB = Blechtrommel allseitig mit 5 cm Beton ausgekleidet
RS = Rollsockenfass
RB = Rollsockenfass allseitig mit 5 cm Beton ausgekleidet
RE = Rollreifentass
RL = Rollreifentass nach 2e der Bedingungen
**) Einteilung in Abfallkategorie A, B, C nach Anlage A der Bedingungen
***) Einteilung in Dosisleistungskategorie 1, 2, 3 nach Ziffer 3 der Bedingungen

Raum für Vermerke der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH · München
Der Ablieferer der oben beschriebenen schwachradioaktiven Abfallstoffe wird zugestimmt. Die Übernahme der oben beschriebenen schwachradioaktiven Abfallstoffe am 4/12.3.75 wird bestätigt.
Die Abfallstoffe müssen am _____ ab _____ Uhr an der Schachtanlage Asse angeliefert werden.
Remlingen, den _____
Remlingen, den 12.3.75

Unterschrift _____

Abbildung 2.1: Beispielhafte Begleitliste hinsichtlich der Mehrdeutigkeit von Nuklidangaben

Neben der Bezeichnung der Nuklide ist auch die Anzahl der Nennungen pro Charge stark variabel. Wie aus Tabelle 2.3 hervorgeht, sind pro Abfallcharge bis zu 21 Einzelnuklide deklariert worden. Abbildung 2.2 zeigt die Begleitliste mit der größten Anzahl an deklarierten Nukliden. Von den Abfalllieferern wurde die Gesamtaktivität angegeben, im Regelfall aber nicht der Aktivitätsanteil eines einzelnen Nuklids an der Gesamtaktivität. Ob es sich bei den deklarierten Nukliden tatsächlich um einzeln gehandhabte Nuklide handelt oder ob vielmehr umfangreiche Nuklidmischungen (beispielsweise Spaltproduktgemische) abgegeben, dabei jedoch nur die dosisrelevanten Nuklide wie Co-60 angegeben worden waren, ist nicht eindeutig ersichtlich. Daher wurde unter Berücksichtigung der Abfallherkunft und -art entschieden, ob in einem Gebinde eine breite Nuklidmischung oder nur bestimmte Einzelnuklide vorlagen. Während bei KKW- und Wiederaufarbeitungsabfällen von Spalt- und/oder Aktivierungsprodukt-Mischungen ausgegangen werden kann, ist insbesondere bei Abfällen von Forschungseinrichtungen und Landessammelstellen eine Einzelbetrachtung der Angaben nötig. Insbesondere die Abfälle des FZJ fallen durch eine hohe Anzahl deklarerter Nuklide auf. Tabelle 2.4 zeigt die in der Tabelle NUKLIDE am häufigsten vorkommenden Nuklidbezeichnungen. Von einer Ausnahme abgesehen stammen alle Abfälle mit mehr als 7 Nuklidangaben pro Charge vom FZJ.

Tabelle 2.3: Häufigkeit der Anzahl der pro Charge gemachten Nuklidangaben

Nuklide pro Charge	Chargen
0	5617
1	3603
2	3353
3	3195
4	2273
5	628
6	232
7	61
8	68
9	30
10	15
11	4
13	1
21	1

001683

Begleitliste
Zur Lagerung schwachradioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse in Remlingen
der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH - München

weiß - verbleibt bei der GSF
rot - erhält Ablieferer mit Ablieferungstermin zurück
gelb - erhält der Ablieferer als Bestätigung nach Ablieferung

200 l Behälter				Beschreibung der Abfallstoffe		mittlere Aktivität Ci/Behälter	Maximale Dosisleistung (mrem/h)		Hiermit wird erklärt: 1. Die »Bedingungen für die Lagerung schwachradioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH - München« sind eingehalten. 2. Die Beförderung erfolgt durch: <u>Bundesbahn</u> Strahlenschutzverantwortlicher: <u>B. Schmidt</u> Unterschrift Anschrift des Ablieferers: <u>Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Dekontamination</u> <u>517 Jülich, Postfach 365</u> Telefon <u>02461/615288</u> <u>Jülich</u> den <u>2.11.1971</u> <u>v. Malley</u> Regionalistische Unterschrift Eventl. Rückfragen an: <u>Malley</u> Sachbearbeiter Gewünschter Ablieferungstermin: <u>10.11.1971</u>
Lfd. Nr.	Art*)	Abfallkategorie**)	Dosisleistungskategorie***)	Art des radioaktiven Abfalls (z.B. Filter, Papier, verfestigte Flüssigkeiten)	Art der Behandlung (z. B. Bindemittel)		Nuklide (erstzweise Angabe, ob Alpha, Beta, Gammastrahler)	an der Außenseite	
144	BB	C	1	verfestigte		Co, Fe, Sb,			
150				Schäume	Beton	Al, H ³ , Pr, Y, Ce, Zr, Sr, Th, Cs, Ba, Tl, Pm, Pu, Am, Sp, Cl, Pb, S.	0,030	80 10	

Abkürzungen:
*) BT = Blechtrommel
BB = Blechtrommel allseitig mit 5 cm Beton ausgekleidet
RS = Rollsickenfass
BB = Rollsickenfass allseitig mit 5 cm Beton ausgekleidet
RB = Rollsickenfass
RE = Rollsickenfass nach 2e der Bedingungen
**) Einteilung in Abfallkategorie A, B, C nach Anlage A der Bedingungen
***) Einteilung in Dosisleistungskategorie 1, 2, 3 nach Ziffer 3 der Bedingungen

Raum für Vermerke der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH - München

Der Ablieferung der oben beschriebenen schwachradioaktiven Abfallstoffe wird zugestimmt.
Die Abfallstoffe müssen am 10.11.71 ab 6⁰⁰ Uhr an der Schachanlage Asse angeliefert werden.
Remlingen, den 5.11.71

Die Übernahme der oben beschriebenen schwachradioaktiven Abfallstoffe am 10.11.71 wird bestätigt.
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH
Betriebsabteilung für Verlagerung
3341 Remlingen bei Wolfenbüttel
Telefon 05336/455
Remlingen, den 15.11.71

v. Malley Unterschrift v. Malley Unterschrift

Abbildung 2.2: Begleitliste mit der größten Anzahl an Nuklidangaben

Jeder Nuklidbezeichnung der Tabelle NUKLIDE wurde, sofern möglich, ein Radionuklid zugewiesen. Bezeichnungen für Nuklidmischungen - wie Uran, Plutonium oder Spaltprodukte - wurden zunächst unverändert beibehalten. Wurden auf einem Einlagerungsdokument keine Nuklide, sondern nur Strahler-Arten ($\alpha/\beta/\gamma$) angegeben, so wurde dies in der Tabelle CHARGEN vermerkt. Bei der späteren Auswertung wurden mittels Nuklidvektoren die Einzelnuklidaktivitäten bestimmt.

Tabelle 2.4: Nuklidbezeichnungen in der Tabelle NUKLIDE mit der Anzahl der Nennungen (nur Nuklide mit mehr als 100 Nennungen)

Nuklidbezeichnung	modifizierte Bezeichnung	Anzahl der Chargen
Co-60		7781
Cs-137		5146
Co-58		4361
Cs-134		2444
Mn-54		2366
Zn-65		1799
Pu		1439
Spaltprodukte		1039
Sr-90		864
H-3		695
SP	Spaltprodukte	666
U		542
Th	Th-232	516
C-14		503
Cr-51		457
Co	Co-60	420
Fe	Fe-55	409
U-nat		329
J-125		248
C	C-14	189
Ra-226		184
Sb-124		156
Uran-Spaltprodukte	Spaltprodukte	149

Die Tabelle KERNBRENNSTOFFE enthält Kernbrennstoff-Nuklide und deren in der Charge enthaltene Massen. In Tabelle 2.5 sind alle in der Tabelle KERNBRENNSTOFFE vorkommenden Kernbrennstoffbezeichnungen sowie die Anzahl ihrer Nennungen aufgeführt. In einigen wenigen Fällen wurde für mehrere Kernbrennstoff-Nuklide nur eine summarische Masse angegeben. In den meisten Fällen konnten vom FB Asse unter Hinzuziehung weiterer Dokumente die Massensummen auf die einzelnen Kernbrennstoffe umgelegt werden. In den wenigen Fällen, in denen dies nicht erfolgte, wurden die angegebenen Massen zu je 100 % jedem der angegebenen Nuklide zugeschlagen und in der Tabelle KERNBRENNSTOFFE-MOD berücksichtigt. Die Aufteilung von Plutonium- und Uranmassen auf einzelne Isotope des je-

weiligen Elementes erfolgte auf Basis von Nuklidvektoren und wird an späterer Stelle erörtert. "Th-nat" und "Thorium" wurden grundsätzlich als Th-232 interpretiert.

Tabelle 2.5: Kernbrennstoff-Bezeichnungen und Anzahl der Nennungen

Kernbrennstoff-Bezeichnung	Anzahl der Chargen
Pu	1414
Pu + U	1
Pu + U-235	5
Pu + U-235 + U-nat	22
Pu-238	9
Pu-238/239	1
Pu-239	25
Pu-239 + U-235	1
Th-232	5
Th-nat	30
Thorium	3
U	3
U-233	15
U-233+Pu-238/239	1
U-235	1012
U-238	54
U-abger.	10
U-nat	1011
UO ₂	1
Uran	190

Nach teilweiser Zusammenfassung, Korrektur und Straffung des Rohdatenbestandes wurden für die Datenauswertung allgemeine und abliefererspezifische Vorgehensweisen zur Ermittlung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars erarbeitet, die Gegenstand des folgenden Kapitels sind.

2.3 Datenauswertung

2.3.1 Allgemeine Vorgehensweise

Aufgrund des umfangreichen Datenbestandes ist eine weitgehend automatisierte Auswertung der Datenbank erforderlich. Aufgrund der Struktur der Ausgangsdaten besteht die Notwendigkeit, neben der automatischen Auswertung des Hauptanteils des Datenbestandes bei bestimmten Ablieferern oder auch für einzelne Abfallchargen individuelle Auswertungsverfahren heranzuziehen. Hierfür wurde vom ISS das Programm PAI ("Program zur Aktualisierung des Asse-Inventars") entwickelt. Die Datenbank ASSEKAT wurde mit dem Datenbank-

managementsystem Microsoft Access 97 erstellt. Aus diesem Grund wurde das Auswerteprogramm PAI in der in Access 97 integrierten Programmiersprache VBA ("Visual Basic for Applications") erstellt. Im Laufe der Auftragsbearbeitung wurde das Datenbanksystem auf Access 2000 aktualisiert.

Die bei der Aktivitätsinventarberechnung verwendeten Parameter sind in der Datenbank festgehalten. Einige Parameter (z. B. das Bezugsdatum des Aktivitätsinventars) können auf der Benutzeroberfläche des Programms variiert werden, andere sind im Programmcode festgeschrieben. Die verwendeten Berechnungsparameter sind in Tabelle 2.6 aufgeführt und werden weiter unten erläutert. Die Variation einiger Parameter wurde zur Abschätzung der Unsicherheiten herangezogen (s. Kapitel 4). Die wesentlichen Arbeitsschritte von PAI sind im folgenden *Kasten 2.1* aufgelistet:

Tabelle 2.6: Zur Aktivitätsberechnung benutzte Berechnungsparameter

Parameter	betroffene Ablieferer	Wert
Stichtag	alle	01.01.1980
Lagerzeit FZK-Abfälle bis zur Ablieferung an die Schachanlage Asse	FZK	30 Tage
Aktivitätsanteil der Aktivierungsprodukte im MAW-Schrott des FZK	FZK	90 %
Aktivitätsanteil der Aktivierungsprodukte im MAW-Hülsenabfällen des FZK	FZK	100 %
Uran-Kontaminationsmasse	alle	50 g/Gebinde
Thorium-Kontaminationsmasse	alle	50 g/Gebinde
Thoriumgehalt Glühstrumpfabfälle	HMI	3,6 mCi/Gebinde

Kasten 2.1: Ablaufschema von PAI

1. Löschen des zuletzt berechneten Inventars
2. Laden von frei wählbaren Berechnungsparametern
3. Laden der zur Auswertung benötigten Zusatzinformationen aus der Datenbank ASSEKAT (BEGLEITLISTEN-MOD, ISS WAK-KAMPAGNEN u. a.)
4. Chargenweise Abarbeitung der Tabelle CHARGEN-MOD
 - 4.1 Laden der chargenspezifischen Daten aus Tabelle CHARGEN-MOD
 - 4.2 Einzelnuclidaktivitätsberechnung für den Ausfertigungstag der Begleitliste
 - 4.2.1 Abliefererspezifische Auswertung
 - 4.2.2 Automatische Auswertung der Tabelle NUKLIDE
 - 4.2.3 Automatische Auswertung der Tabelle RADIUM
 - 4.2.4 Automatische Auswertung der Tabelle KERNBRENNSTOFFE-MOD
 - 4.3 Umrechnung der Einzelnuclidaktivitäten auf den gewählten Stichtag
 - 4.3.1 Berechnung der Aktivitätsabnahme durch radioaktiven Zerfall
 - 4.3.2 Berechnung des Aktivitätsaufbaus aus Mutternukliden
 - 4.4 Speichern der Einzelnuclidaktivitäten in der Tabelle ISS KATASTER
 - 4.5 Speichern der Berechnungsparameter und Zusatzinformationen (Bemerkungen, Kampagnenzuordnungen, Nuklidvektoren etc.)
5. Aktualisierung von Datenbankverknüpfungen, Erstellen von Statistiken

Nach dem Löschen der Ergebnisse der letzten Inventarberechnung und der Neuerstellung der Tabelle ISS KATASTER werden die Parameter der neuen Berechnung sowie die Tabellen BEGLEITLISTEN-MOD, KERNBRENNSTOFFE-MOD u. a. in den Arbeitsspeicher geladen. Anschließend wird die Tabelle CHARGEN-MOD chargenweise ausgewertet.

Die konkrete Vorgehensweise bei der Aktivitätsberechnung zum Ausfertigungstag der Begleitliste (Punkt 4.2) wird in erster Linie anhand des Abfallverursachers festgelegt. An dieser Stelle kann beispielsweise auf abliefererspezifische Unterprogramme verwiesen, aufgrund der Sichtung des zugehörigen Einlagerungsdokumentes eine bestimmte Umrechnung der in ASSEKAT vorhandenen Daten festgelegt und/oder die folgende automatische Auswertung ganz oder teilweise unterdrückt werden. Die Aktivitätsberechnungen für die Abfälle des FZK und

der KKW's beispielsweise wurden ausschließlich mit abliefererspezifischen Unterprogrammen durchgeführt, die in den folgenden Kapiteln erörtert werden. Bei allen anderen Ablieferern wurde anhand der Einlagerungsdokumente entschieden, wie die darauf enthaltenen Angaben zu bewerten waren. Bei nicht eindeutiger Datenlage wurde grundsätzlich eine Vorgehensweise gewählt, welche die zugehörigen Einzelnuclidaktivitäten an der oberen Grenze berücksichtigt. Soweit bei der Auswertung keine spezielle Vorgehensweise festgelegt wurde, wurden anschließend die Daten der Charge in den Tabellen NUKLIDE, RADIUM und KERNBRENNSTOFFE-MOD durch die Routineverfahren 4.2.2 bis 4.2.4 (s. Kasten 2.1) ausgewertet.

Nach der Berechnung der Einzelnuclidaktivitäten zum Ausfertigungstag der Begleitliste werden diese auf den gewählten Stichtag umgerechnet. Dabei werden sowohl die Aktivitätsabnahme durch den radioaktiven Zerfall als auch der Aktivitätsaufbau einiger Nuklide aus Vorläufnernukliden gemäß (1) bis (3) berücksichtigt. Die Aktivität A_1 eines Radionuklides zum Stichtag berechnet sich aus seiner Aktivität zum Ausfertigungstag der Begleitliste $A_{1,0}$, seiner Zerfallskonstante λ_1 sowie dem Zeitraum t zwischen dem Ausfertigungstag der Begleitliste und dem gewählten Stichtag.

$$A_1 = A_{1,0} \cdot e^{-\lambda_1 t} \quad (1)$$

Die sich aus A_1 aufbauende Aktivität A_2 des Tochternuklides berechnet sich nach (2).

$$A_2 = A_{1,0} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (2)$$

Die sich aus A_1 aufbauende Aktivität A_3 des Enkelnuklides berechnet sich nach (3).

$$A_3 = A_{1,0} \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \left(\frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1) \cdot (\lambda_3 - \lambda_1)} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2) \cdot (\lambda_3 - \lambda_2)} + \frac{e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3) \cdot (\lambda_2 - \lambda_3)} \right) \quad (3)$$

Nuklide, deren Aktivität zum Stichtag weniger als 1 Bq pro Abfallcharge betrug, wurden bei der Inventarbestimmung vernachlässigt, da ihr Beitrag am Radionuklidinventar vernachlässigbar ist.

Die in der folgenden Tabelle 2.7 aufgeführten Aufbaureaktionen werden in PAI berücksichtigt. Diese Reaktionen reichen für eine ausreichend genaue Berechnung für die betrachteten Zeiträume zwischen der Einlagerung in die Schachanlage Asse und dem Stichtag (01.01.1980, dem Ende des Jahrzehnts der Versuchseinlagerung in der Schachanlage Asse)

aus. Der Aufbau von Pb-210 aus Ra-226 wird bei Vernachlässigung der kurzlebigen Zerfallszwischenprodukte mit (2) hinreichend genau beschrieben.

Tabelle 2.7: Berücksichtigte Aktivitätsaufbaureaktionen vom Ausfertigungstag der Begeleitliste auf den Stichtag der Aktivitätsberechnung

Nuklid	Mutternuklid(e)
Pb-210	Ra-226
Ac-227	Pa-231
Th-228	U-232, Ra-228, Th-232
Np-237	Am-241, Pu-241
Am-241	Pu-241

Die Einlagerungsdokumente bzw. die Datenbank ASSEKAT 7.0 enthalten eine Reihe von Angaben, die nicht ohne Einzelprüfung ausgewertet werden konnten. Tabelle 2.8 enthält eine Auflistung solcher Fälle, die hier näher erläutert werden:

- Wurden für eine Abfallcharge Uran oder Thorium deklariert, jedoch keine Aktivitätsangaben oder nur "<" + Aktivitätsangabe (meist wurde in diesen Fällen "< 0,2 Ci" angegeben), so wurde anhand der auf den Einlagerungsdokumenten aufgeführten Abfallbezeichnung entweder eine Maximalmasse oder eine Kontaminationsmasse abgeschätzt. Eine Umrechnung der angegebenen maximalen Aktivitäten würde in diesen Fällen unrealistisch hohe Uran- oder Thoriummassen ergeben.
- Wurden für eine Charge mit einer hohen Gesamtaktivität neben Uran oder Thorium relativ kurzlebige Nuklide mit hohen spezifischen Aktivitäten angegeben, so wurden wie im vorangegangenen Fall Maximal- oder Kontaminationsmassen geschätzt, da davon ausgegangen werden kann, dass die deklarierten Aktivitäten zum größten Teil von den kurzlebigen Nukliden stammen. Bei Abfällen, die ganz oder teilweise Glühstrümpfe als Abfallart enthielten, wurde in Abstimmung mit dem Ablieferer (HMI) die Th-232-Aktivität mit 3,6 mCi pro Gebinde angesetzt (s. Kapitel 2.3.2.4). Die deklarierten Gesamtaktivitäten wurden vollständig auf die anderen deklarierten Nuklide umgelegt.
- Waren für eine Charge neben Masseangaben zu Uran "<" + Aktivitätsangaben vorhanden, so wurden die Masseangaben zur Auswertung herangezogen. Bei Masseangaben zu U-235, das als Kernbrennstoff deklarationspflichtig war, wurden aus diesen Masseangaben die Massen von U-238 und U-234 berechnet.

- Wurden für eine Charge Uran/Thorium-Verbindungen deklariert, so wurde aus der deklarierten Aktivität die entsprechenden Massen von U-234, U-235 und U-238 berechnet und die Thoriummasse mit der Gesamturanmasse gleichgesetzt.

Die angenommenen Maximal- und Kontaminationsmassen wurden durch Vergleich mit ähnlichen Abfallchargen mit detaillierteren Aktivitätsangaben ermittelt. Durch Variation dieser Werte wurde eine Unsicherheitsbetrachtung durchgeführt (s. Kapitel 4.3) und die Ergebnisse im nuklidspezifischen Aktivitätsinventar für den Nachweis der Langzeitsicherheit berücksichtigt (s. Kapitel 5).

Tabelle 2.8: *Generelle Vorgehensweise bei der Aktivitätsberechnung anhand bestimmter Abfallmerkmale*

Nuklid/Element	Angaben in Datenbank	benutzter Wert
Uran/Th-232	k. A. oder "<" + Aktivitätsangabe	geschätzte Maximal- oder Kontaminationsmasse für Uran/Th-232
Uran/Th-232 + Cs-137, Pm-147 etc	hohe Aktivitätsangabe	geschätzte Maximal- oder Kontaminationsmasse für Uran/Th-232
Uran	Uranmasse + "<" + maximal zulässige Aktivität	Uranmasse
Uran	U-235-Masse + "<" + maximal zulässige Aktivität	U-235 Masse, daraus Berechnung von U-234 und U-238
Uran/Th-232	Abfallart, die auf Kontaminationen hinweist	geschätzte Kontaminationsmasse (je 50 g Uran und/oder Th-232 pro Gebinde)
Uran/Th-232	U/Th-Verbindungen + Aktivitätsangabe	U-Masse aus Aktivität, Th-Masse = U-Masse
Th-232	Glühstrümpfe (nur HMI-Abfälle)	3,6 mCi/Gebinde

Im Folgenden sei ein konkretes Beispiel gegeben: Auf der in Abbildung 2.3 dargestellten Begleitliste ist bei allen Positionen U-nat als Nuklid angegeben. Es bestehen jedoch erhebliche Differenzen zwischen den Aktivitäten, die sich aus den U-235-Massen und den zugehörigen anderen Uranisotopen ergeben, und den deklarierten Aktivitäten. 15 g/Gebinde U-235 beispielsweise, wie bei der vorletzten Position angegeben, entsprechen 2,08 kg U-nat bzw. 1,44 mCi. Dieser Wert liegt deutlich unter der zugehörigen Aktivitätsangabe von 10 mCi. In

derartigen Fällen wurde die Masseangabe als vertrauenswürdiger als die Aktivitätsangabe angesehen und daher aus der angegebenen U-235-Masse die Aktivitäten von U-234/235/238 berechnet. Bei anderen Positionen der gezeigten Begleitliste sind keine U-235-Massen angegeben worden. In diesen Fällen wurde davon ausgegangen, dass es sich nur um Uran-Spuren (Kontaminationen, wie aus den Abfallarten hervorgeht) handeln kann, die mit 50 g/Gebinde angesetzt wurden.

002826

Begleitliste
Zur Lagerung schwachradioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse in Remlingen
der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH - München

weiß - verbleibt bei der GSF
rot - erhält Abnehmer mit Ablieferungstermin zurück
gelb - erhält der Abnehmer als Bestätigung nach Ablieferung

Lfd. Nr.	Behälter			Dosisleistungskategorie 4)	Beschreibung der Abfälle			Masse und Art der Kernbrennstoffe	mittlere Aktivität (gemischt, Kernbrennstoffe) Ci/Behälter	Maximale Dosisleistung (mrem/h)	
	Art des Behälters 1)	Abfallkategorie 2)	Gewicht 3)		Art des radioaktiven Abfalls (z. B. Filter, Papier, verfestigte Fällschlamm)	Art der Behandlung (z. B. Bindemittel)	Nuklide (ersatzweise Angabe, ob Alpha, Beta, Gammastrahler)			an der Außenseite	in 1 m Abstand
1381	a	"C"	≤ 700kg	1	Kohl. Teil Rückstände	Beton	U-nat	6g U ²³⁵	< 0,01	< 10	< 1
1382											
1384	c	"A"	≤ 700kg	1	Kohl. Teil	Beton	U-nat	14g Fass	< 0,001	< 10	< 1
1385	c	"A"	"	1	"	"	"	"	< 0,001	< 10	< 1
1386	c	"A"	"	1	"	"	"	"	< 0,001	< 10	< 1
1387	c										
1392	c	"A"	≤ 700kg	1	"	"	U-nat	14g Fass	< 0,001	< 10	< 1
1393	a	"C"	"	1	"	"	"	"	< 0,01	< 10	< 1
1394	a	"C"	"	1	"	"	"	"	< 0,01	< 10	< 1
1395											
1399	b	"C"	"	1	"	"	U-nat	15g Fass	< 0,01	< 10	< 1
1400	b	"C"	"	1	"	"	"	12g U ²³⁵	< 0,01	< 10	< 1

Hiermit wird erklärt:
1. Die Bedingungen für die Lagerung schwachradioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH - München sind eingehalten.
2. Die Beförderung erfolgt durch: LKW

Strahlenschutzverantwortlicher:
Klein
Unterschrift

Anschrift des Ablieferers:
NUKEM
B.m.b.H.
Postfach 110080
645 HANAU-M

Telefon 06181/500213
HANAU-M den 10.12.76

Eventl. Rückfragen an: R. ANTON
Sachbearbeiter

Gewünschter Ablieferungstermin: JAN. 1977

Abkürzungen:
1) Kennbuchstabe aus Ziff. 2 der Bedingungen
2) Einteilung in Abfallkategorie A, B, C nach Anlage I der Bedingungen
3) Einteilung für: Fässer: ≤ 700 kg; ≤ 1,25 t
Betonschub: ≤ 2,5 t; ≤ 5,0 t
4) Einteilung in Dosisleistungskategorie 1, 2, 3, 4 nach Ziff. 3 der Bedingungen

Raum für Vermerke der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH - München
Der Ablieferer der oben beschriebenen schwachradioaktiven Abfälle wird zugestimmt.
Die Abfälle müssen am 26.1.77 um 6 Uhr an der Schachanlage Asse angeliefert werden.
Remlingen, den 15.12.76

Die Übernahme der oben beschriebenen schwachradioaktiven Abfälle am 26.1.77 wird bestätigt.
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH
Institut für Tertiärlagerung - Technische Abteilung
Schachanlage Asse
3346 Remlingen
Telefon 05336/445 - Telex 95617 asse d
Remlingen, den 26.1.77

i.v. Ullrich
Unterschrift

i.v. Ullrich
Unterschrift

Abbildung 2.3: Beispiel einer Begleitliste, deren Angaben eine "manuelle" Auswertung erfordert

Hinsichtlich der Nuklidangaben wurde bereits im vorangegangenen Kapitel aufgeführt, dass meist keine Angaben vorlagen, wie sich die Aktivität einer Charge auf die deklarierten Nuklide verteilt. Zudem ist in einigen Fällen unklar, ob es sich um Spaltprodukt-, Spalt/Aktivierungsprodukt- oder andere Nuklidgemische handelt, in denen ein beliebiges Aktivitätsverhältnis möglich ist. Bei der Datenauswertung wurden daher die im folgenden Kapitel 2.3.2 beschriebenen abliefererspezifischen Vorgehensweisen für die Abfälle des Forschungszentrums Karlsruhe und Kernkraftwerksabfälle sowie die weiteren Subprozeduren für die Ermittlung des Uran- und Thoriuminventars (s. Tabelle 2.8) angewandt. Bei den verbleibenden Abfallgebunden wurden die Aktivitäten zu gleichen Teilen auf alle deklarierten Nuklide umgelegt. Bei

der Unsicherheitsbetrachtung wurde diese Vorgehensweise untersucht und bewertet (s. Kapitel 4.3) und bei der Ermittlung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventar für den Nachweis der Langzeitsicherheit berücksichtigt (s. Kapitel 5).

2.3.2 Abliefererspezifische Vorgehensweise

2.3.2.1 Herkunft der Abfälle

Tabelle 2.2 enthält eine Aufstellung der Ablieferer der in der Schachanlage Asse eingelagerten Abfälle. Abbildung 2.4 zeigt eine Aufschlüsselung der Aktivitäten in den LAW- und der MAW-Kammer nach verschiedenen Ablieferergruppen. Die deklarierte Gesamtaktivität verteilt sich zu etwa 2/3 auf die MAW-Kammer und zu etwa 1/3 auf die LAW-Kammern.

In der MAW-Kammer befinden sich 1.301 Stück 200-l-Fässer mit einer deklarierten Gesamtaktivität von $1,36E+05$ Ci. Für die von FZK abgelieferten 200-l-Fässer (1.265 Stück) wurden insgesamt $1,33E+05$ Ci Gesamtaktivität angegeben; hier sind Gebinde mit Metallteilen und Schrott mit hohen Aktivitäten die Hauptaktivitätsträger (über 90 %). Die von Amersham Buchler (7 Stück), GKSS (21 Stück) und dem FZJ (8 Stück) abgelieferten 200-l-Fässer beinhalten nur etwa 2 % der in die MAW-Kammer eingelagerten Gesamtaktivitäten.

In den LAW-Kammern befinden sich 124.486 Gebinde mit einer deklarierten Gesamtaktivität von $7,5E+04$ Ci. Von allen in Tabelle 2.2 aufgelisteten Ablieferern wurden Abfälle in den LAW-Kammern eingelagert. Die Abfallgebände enthalten vor allem verfestigte oder getrocknete ehemals wasserhaltige Abfälle, wie z. B. Verdampferkonzentrate, Filtrerrückstände, Schlämme, Ionenaustauscherharze, weiterhin feste Abfälle, wie Bauschutt, Schrott, Filter, Labor- und sonstige Abfälle, sowie zementierte Verbrennungsrückstände. Auch in den LAW-Kammern stammt der Großteil des Aktivitätsinventars vom FZK. Die Kernkraftwerksabfälle stammen aus SWR und DWR. Sie wurden entweder direkt von den Kernkraftwerken oder über die Firmen Transnuklear, Steag und GNS abgeliefert; hier ist jedoch das Ursprungskraftwerk nicht immer genannt. Einige von den Firmen AEG/KWU und Nukem sowie dem FZJ abgelieferte Abfälle wurden aufgrund der angegebenen Abfallbezeichnungen bei der Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars ebenfalls wie Kernkraftwerksabfälle berücksichtigt (s. Kap 2.3.2.3). In Abbildung 2.4 sind diese jedoch noch in den Abfällen anderer Ablieferer enthalten. Auf die Besonderheiten der verschiedenen Abfallablieferer wird in den folgenden Kapiteln näher eingegangen.

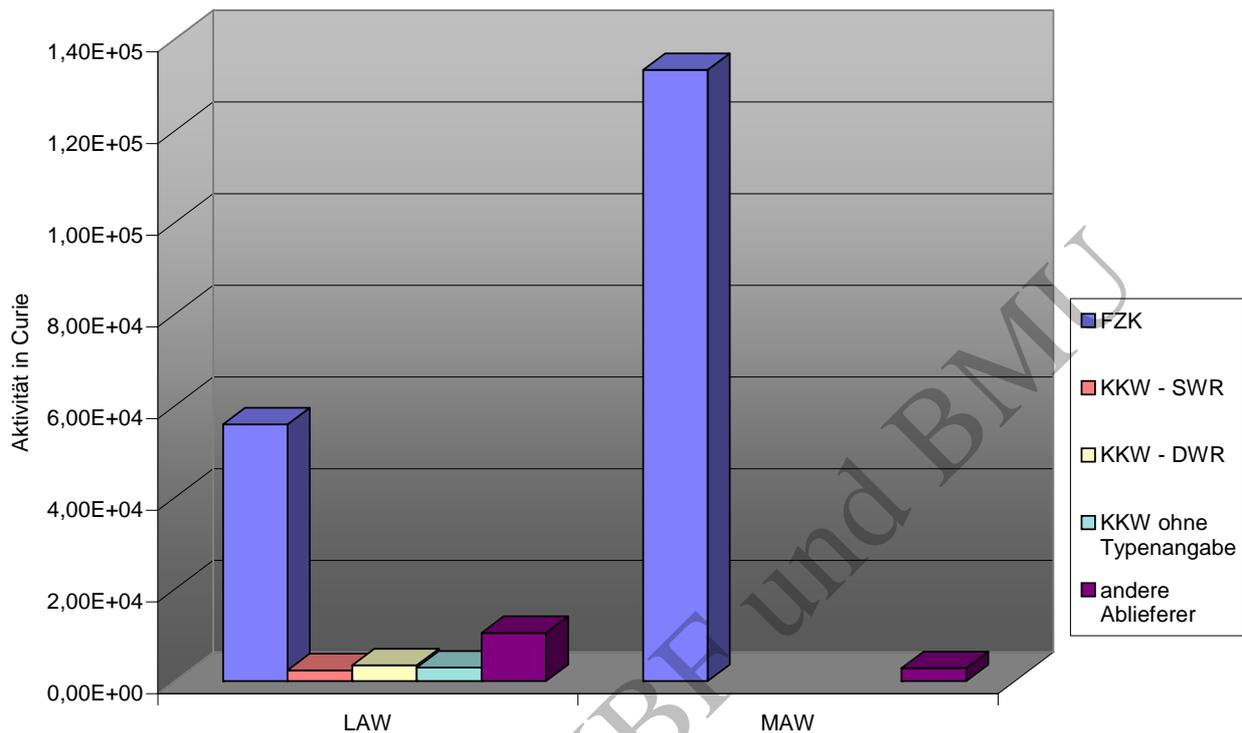


Abbildung 2.4: Herkunft der in der Schachanlage Asse eingelagerten Aktivitäten (deklarierte Aktivitäten der Einlagerungsdokumente)

2.3.2.2 Abfälle des Forschungszentrums Karlsruhe

Allgemeines

Die vom FZK an die Schachanlage Asse abgegebenen Abfälle stellen hinsichtlich der abgegebenen Aktivitäten und der Anzahl der Gebinde den Hauptanteil der eingelagerten Abfälle dar (s. Tabelle 2.2 und Abbildung 2.4). Daher fand für die Aktivitätsinventarbestimmung dieser Abfälle ein fortlaufender intensiver Informationsaustausch mit dem FZK statt.

Nach Auskunft der HDB stammen praktisch alle an die Schachanlage Asse abgelieferten Abfälle aus der WAK [L2]. Abfälle der an die HDB (früher: ADB) angeschlossenen Landes-sammelstelle sind hinsichtlich ihrer Zahl und ihres Aktivitätsgehaltes von untergeordneter Bedeutung (weniger als 1 % der vom FZK abgegeben Gebinde). Daher wurden alle Abfälle des FZK bei der Auswertung als von der WAK stammend betrachtet. Die vor Inbetriebnahme der WAK vom FZK abgegebenen Abfälle sind für das Aktivitätsinventar der Schachanlage Asse praktisch bedeutungslos. Bezogen auf die Gesamtheit der vom FZK abgegeben Abfälle handelt es sich um 6,8 % (4.186 Stück von 61.189 Stück) der Gebinde, die jedoch nur 0,06 % (107 Ci von 1,89E+05 Ci) der deklarierten Aktivität enthalten und für die zudem keine Kernbrennstoffe deklariert wurden. Diese Abfälle konnten mangels jeglicher Informationen bezüglich

lich der Nuklidzusammensetzung nicht ausgewertet werden und wurden daher bei der Inventarberechnung vernachlässigt.

Die Abbildung 2.5 zeigt eine beispielhafte Begleitliste der Abfälle des FZK (LAW). Aufgrund des umfangreichen Nuklidspektrums von Wiederaufarbeitungsabfällen wurden bei der Ablieferung zu den Gesamtaktivitäten keine ergänzenden Einzelnuklidangaben gemacht. Den Einlagerungsbedingungen der Schachanlage Asse entsprechend wurden lediglich die Strahlerarten ($\alpha/\beta/\gamma$) angegeben. Masseangaben zu Uran und Plutonium, vereinzelt auch zu Thorium, wurden vom Ablieferer in separaten Kernbrennstoffmeldungen und Materialbegleitscheinen getätigt. Einige wenige Begleitlisten enthielten auch Masseangaben zu Radium. Die Aktivitätsangaben wurden am FZK anhand der Dosisleistungen der Gebinde geschätzt [L3]. Im FZK durchgeführte Nachmessungen (Gesamt- α - und Gesamt- β -Messungen) von Konzentrationsschichten deuten darauf hin, dass die Aktivitäten eher überdeklariert waren. Es existierten jedoch keine verbindlichen Verfahrensvorschriften zur Vorgehensweise bei der Aktivitätsdeklaration. Daher ist u. a. unklar, ob die deklarierten Aktivitäten auf den Einlagerungsdokumenten die der kurzlebigen Tochternuklide ($Y-90$ aus $Sr-90$, $Ba-137m$ aus $Cs-137$ etc.) beinhalten. Bei der Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars wurde die konservative Annahme getroffen, dass die deklarierten Aktivitäten der Begleitlisten die kurzlebigen Tochternuklide nicht einschließen. Da in den Einlagerungsdokumenten bzw. der Datenbank keine Angaben zur Nuklidzusammensetzung der Abfälle vorlagen, mußten zur Berechnung der Einzelnuklidaktivitäten aus den Gesamtaktivitäten und Kernbrennstoffmassen Nuklidvektoren ermittelt werden.

001111

Begleitliste
Zur Lagerung schwachradioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse in Remlingen
der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH - München

weiß - verbleibt bei der GSF
rot - erhält Ablieferer mit Ablieferungstermin zurück
gelb - erhält der Ablieferer als Bestätigung nach Ablieferung

200 l Behälter				Beschreibung der Abfallstoffe			Masse und Art der Kernbrennstoffe	mittlere Aktivität Ci/Behälter	Maximale Dosisleistung (mrem/h)		Hiermit wird erklärt:
Lfd. Nr.	Art*)	Abfallkategorie**)	Dosisleistungskategorie***)	Art des radioakt. Abfalls (z. B. Filter, Papier, verfestigte Flüssigkeiten)	Art der Behandlung (z. B. Bindemittel)	Nuklide (ersatzweise Angabe ob Alpha-Beta-Gammastrahler)			an der Außenseite	in 1 m Abstand	
1-9	RR	A	1	Asche	betoniert	U-235, Pu-239	0,012	50	5	2. Die Beförderung erfolgt durch: <u>Deutsche Bundesbahn</u> Strahlenschutzverantwortlicher: <u>i.H. [Signature]</u> Unterschrift Anschrift des Ablieferers: <u>Gesellschaft für Kernforschung</u> <u>75 Karlsruhe - Leopoldshafen</u> <u>Abt.: A. D. B.</u> Telefon: <u>2458 / 2220</u> <u>M. F. B. M.</u> den <u>16. 6. 75</u> i.H. [Signature] Rechtswidrliche Unterschrift Eventl. Rückfragen an: _____ Sachbearbeiter Gewünschter Ablieferungstermin: <u>19. 6. 75</u>	
10-22	RR	A	1	Schrott	betoniert	U-235, Pu-239	0,01	90	10		
23-113	RR	A	1	Schrott	betoniert	U-235, Pu-239	0,01	90	10		
114-125	RR	A	1	Schrott	betoniert	U-235, Pu-239	0,002	10	1		
126-135	RR	B	1	Schrott	betoniert	U-235, Pu-239	0,01	1	0,1		
136-144	RR	B	1	Bauschutt	betoniert	U-235, Pu-239	0,01	90	10		

Abkürzungen:

*) BT = Blechtrommel
 BB = Blechtrommel allseitig mit 5 cm Beton ausgekleidet
 RS = Rollstückenfass
 RB = Rollenfass allseitig mit 5 cm Beton ausgekleidet
 RR = Rollreifenfass
 RE = Rollreifenfass nach 2e der Bedingungen
 **) Einteilung in Abfallkategorie A, B, C nach Anlage A der Bedingungen
 ***) Einteilung in Dosisleistungskategorie 1, 2, 3 nach Ziffer 3 der Bedingungen

Raum für Vermerke der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH - München

Der Ablieferer der oben beschriebenen schwachradioaktiven Abfallstoffe wird zugestimmt. Die Übernahme der oben beschriebenen schwachradioaktiven Abfallstoffe am 19. 6. 75 wird bestätigt.
 Die Abfallstoffe müssen am _____ ab _____ Uhr
 an der Schachanlage Asse angeliefert werden.
 Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH
 Institut für Tiefagerung - Technische Abteilung
 Schachanlage Asse II
 3341 Remlingen Ober Wölschbüchel
 Telefon 0 53 30 / 455

Remlingen, den _____
 Remlingen, den 20. 6. 75

[Signature]
 Unterschrift

Abbildung 2.5: Beispielhafte Begleitliste für LAW des FZK

Nuklidvektoren

Während der Einlagerungszeit der Schachanlage Asse wurde in der WAK eine Reihe von Wiederaufarbeitungskampagnen durchgeführt. Tabelle 2.9 enthält eine Aufstellung der Kampagnen, deren Bezeichnungen sich aus der Herkunft der aufgearbeiteten Brennelementen herleiten. Weiterhin sind der Abbrand der Brennelemente, die Zeiträume der Kampagnen sowie die in diesen Zeiträumen an die Schachanlage Asse abgegebenen Stückzahlen der Gebinde und die zugehörigen deklarierten Aktivitäten aufgeführt. Wie aus Tabelle 2.9 ersichtlich, stammten die aufgearbeiteten Brennelemente von unterschiedlichsten Reaktortypen und hatten sehr unterschiedliche Abbrände. Bei der Kampagne "Uranbetrieb" wurde die WAK mit angereichertem Uranylнитrat, während der Kampagne "Alkem-Schrott" mit uran- und plutoniumhaltigen Produktionsabfällen der Fa. Alkem (später: Siemens Brennelementwerk Hanau) gefahren [L4].

Tabelle 2.9: WAK-Kampagnen mit Abbrand der Brennelemente, Kampagnenzeiten sowie Anzahl und Gesamtaktivität der zugehörigen Gebinde

WAK-Kampagne	Abbrand MWd/tU	Beginn	Dauer Tage	Gebinde Stück	Aktivität Ci
Uranbetrieb	-	01.01.1970	423	2.623	3,75E+02
Alkem-Schrott	-	01.03.1971	184	0	0,00E+00
FR 2	900	01.09.1971	121	1.116	3,18E+02
VAK-1	16.820	01.01.1972	58	952	2,74E+02
KWO-1	15.800	01.03.1972	213	1.573	4,78E+02
MZFR-1	4.600	01.10.1972	699	10.298	8,90E+03
Pu-Reinigung	-	01.09.1974	60	741	8,65E+02
HDR	300	01.11.1974	91	986	6,79E+02
VAK-2	13.950	01.02.1975	27	357	2,21E+02
MZFR-2	6.200	01.03.1975	90	1.237	1,44E+03
KWO-2	24.500	01.06.1975	518	12.340	1,14E+05
KRB	17.600	01.11.1976	150	4334	1,63E+04
KWO-3	29.300	01.04.1977	333	8.613	1,88E+04
MZFR-3	6.582	01.03.1978	183	5.312	1,14E+04
Dekophase	-	01.09.1978	121	6.521	1,56E+04

Zu jeder Wiederaufarbeitungskampagne wurde von der WAK je ein Nuklidvektor für Spalt-/Aktivierungsprodukte, Uran und Plutonium angegeben [L5]. Für die "Pu-Reinigung" und die "Dekophase" wurden auf Empfehlung der WAK die Nuklidvektoren der jeweils vorangegangenen Kampagnen verwendet [L4].

Die Nuklidvektoren wurden stichprobenweise auf ihre Plausibilität überprüft. Die Isotopenzusammensetzung der Brennelemente der Leistungsreaktoren und des VAK zeigen typische Nuklidzusammensetzungen. Die Aktivitätsverhältnisse von Cs-135 zu Cs-137 und Co-60 zu Ni-63 liegen in KKW-typischen Bereichen. Die ursprünglich von FZK angegebenen I-129-Angaben wurden auf Nachfrage des ISS vom FZK korrigiert. Die kurzlebigen Nuklide Y-90 und Ba-137m sind in den Nuklidvektoren nicht enthalten. Die Nuklidvektoren sind daher bezüglich des oben Gesagten abdeckend.

Die Uranisotopenzusammensetzung der Brennelemente des MZFR liegen erwartungsgemäß im abgereicherten Bereich, die des FR2 im natürlichen Bereich. Die Veränderungen der Uran- und Plutonium-Isotopenverhältnisse mit dem Abbrand zeigen den zu erwartenden Verlauf, der durch die Abnahme von Pu-239 und den Aufbau der übrigen Plutonium-Isotope gekennzeichnet ist.

Tabelle 2.10: Uran-Nuklidvektoren der WAK-Kampagnen in Bq/g Uran [L5, 6]

Kampagne	U-232	U-233	U-234	U-235	U-236	U-238
Uran-Betrieb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,08E+02	0,00E+00	1,24E+04
Alkem-Schrott	0,00E+00	0,00E+00	1,27E+04	5,76E+02	0,00E+00	1,23E+04
FR 2	8,59E+01	9,06E-01	1,90E+04	6,10E+02	2,41E+03	1,23E+04
VAK-1	2,36E+02	2,03E+00	3,58E+04	9,59E+02	5,77E+03	1,22E+04
KWO-1	1,44E+02	2,09E+00	4,09E+04	1,13E+03	6,06E+03	1,22E+04
MZFR-1 Pu-Reinigung	1,14E+01	2,66E-01	1,17E+04	2,94E+02	1,26E+03	1,24E+04
HDR	4,91E-01	6,37E-02	5,29E+04	2,36E+03	1,41E+02	1,20E+04
VAK-2	2,38E+02	1,95E+00	3,72E+04	1,06E+03	5,21E+03	1,22E+04
MZFR-2	2,03E+01	3,31E-01	1,26E+04	2,53E+02	1,48E+03	1,24E+04
KWO-2	5,92E+02	2,36E+00	3,44E+04	7,38E+02	7,68E+03	1,23E+04
KRB	4,04E+02	1,91E+00	2,98E+04	7,75E+02	5,50E+03	1,23E+04
KWO-3	6,88E+02	2,67E+00	3,73E+04	7,51E+02	9,06E+03	1,23E+04
MZFR-3 Dekophase	3,06E+01	3,40E-01	1,14E+04	2,26E+02	1,56E+03	1,24E+04

Tabelle 2.11: Plutonium-Nuklidvektoren der WAK-Kampagnen in Bq/g Plutonium [L5, 6]

Kampagne	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Pu-244
Uran-Betrieb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Alkem-Schrott	0,00E+00	2,00E+09	1,05E+09	7,22E+10	5,43E+05	0,00E+00
FR 2	1,32E+09	1,72E+09	1,39E+09	2,76E+11	1,73E+06	9,87E-02
VAK-1	3,55E+09	1,59E+09	1,57E+09	3,59E+11	2,89E+06	1,24E-01
KWO-1	2,65E+09	1,61E+09	1,61E+09	3,21E+11	2,37E+06	1,86E-01
MZFR-1 Pu-Reinigung	6,01E+08	1,68E+09	1,75E+09	1,95E+11	1,30E+06	2,74E-02
HDR	8,98E+06	2,28E+09	5,11E+07	2,55E+08	2,49E+01	1,84E-09
VAK-2	2,74E+09	1,67E+09	1,49E+09	2,89E+11	2,15E+06	6,93E-02
MZFR-2	8,84E+08	1,57E+09	1,96E+09	2,46E+11	2,18E+06	5,84E-02
KWO-2	5,94E+09	1,44E+09	1,87E+09	3,96E+11	5,46E+06	8,60E-01
KRB	3,92E+09	1,57E+09	1,67E+09	3,26E+11	3,70E+06	2,53E-01
KWO-3	7,67E+09	1,38E+09	1,91E+09	4,37E+11	6,17E+06	1,10E+00
MZFR-3 Dekophase	1,11E+09	1,53E+09	2,08E+09	2,45E+11	2,74E+06	6,43E-02

Tabelle 2.12: Nuklidvektoren (Bq pro Bq Cs-137, bezogen auf den jeweiligen Kampagnenstichtag) der WAK-Kampagnen [L5]

Nuklid	FR 2	VAK-1	KWO-1	MZFR-1	HDR	VAK-2
H-3	4,57E-03	4,43E-03	4,36E-03	4,42E-03	3,62E-03	4,07E-03
Be-10	3,58E-12	3,69E-12	3,03E-12	1,97E-12	1,51E-12	4,48E-12
C-14	4,90E-07	4,30E-07	3,88E-07	3,90E-07	4,24E-07	5,68E-07
Cl-36	1,78E-12	2,95E-12	1,78E-12	4,61E-13	1,23E-14	3,37E-12
Mn-54	2,00E-03	6,87E-03	8,29E-03	5,79E-03	2,75E-03	1,45E-03
Fe-55	9,75E-02	1,22E-01	1,30E-01	1,19E-01	1,02E-01	8,94E-02
Co-60	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02
Ni-59	6,02E-05	5,11E-05	4,62E-05	4,79E-05	5,44E-05	6,81E-05
Ni-63	8,44E-03	7,21E-03	6,56E-03	6,81E-03	7,69E-03	9,46E-03
Se-79	3,41E-06	2,80E-06	2,74E-06	2,96E-06	6,41E-06	5,12E-06
Kr-85	2,37E-09	5,73E-09	3,06E-09	4,25E-10	9,01E-18	3,10E-09
Rb-87	2,12E-10	2,23E-10	2,29E-10	2,12E-10	2,85E-10	2,40E-10
Sr-90	6,81E-01	7,39E-01	7,77E-01	7,13E-01	9,34E-01	7,55E-01
Zr-93	2,14E-05	2,08E-05	2,07E-05	2,04E-05	2,39E-05	2,21E-05
Zr-95	2,25E-05	1,82E-01	9,24E-02	7,45E-03	1,01E-04	2,06E-05
Nb-94	3,64E-06	3,08E-06	2,79E-06	2,91E-06	3,31E-06	4,11E-06
Mo-93	2,45E-07	2,08E-07	1,88E-07	1,95E-07	2,21E-07	2,77E-07
Tc-99	1,45E-04	1,38E-04	1,37E-04	1,44E-04	1,55E-04	1,46E-04
Ru-106	6,42E-01	1,76E+00	1,87E+00	1,65E+00	2,53E-01	3,67E-01
Pd-107	1,11E-06	8,83E-07	7,53E-07	1,01E-06	2,19E-07	8,71E-07
Ag-108m	2,82E-10	2,26E-10	1,86E-10	2,74E-10	4,91E-12	2,15E-10
Cd-113m	2,47E-04	2,43E-04	2,16E-04	2,19E-04	9,81E-05	2,13E-04
Sn-119m	1,31E-03	7,28E-03	8,70E-03	5,34E-03	1,98E-03	9,17E-04
Sn-126	5,61E-06	4,98E-06	4,58E-06	5,36E-06	3,13E-06	5,07E-06
Sb-125	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02
I-129	3,37E-07	3,02E-07	2,84E-07	3,15E-07	2,38E-07	3,12E-07
Cs-134	2,17E-01	5,79E-01	5,32E-01	1,61E-01	4,86E-03	2,47E-01
Cs-135	3,79E-06	6,34E-06	3,71E-06	4,35E-06	1,22E-05	7,03E-06
Ce-144	7,85E-01	3,49E+00	4,86E+00	3,11E+00	1,40E+00	4,94E-01
Pm-147	1,16E+00	1,49E+00	1,77E+00	1,94E+00	1,79E+00	9,12E-01
Sm-151	6,74E-03	4,49E-03	4,87E-03	1,10E-02	2,45E-02	5,08E-03
Eu-152	7,15E-05	1,44E-04	6,69E-05	7,02E-05	5,40E-06	1,53E-04
Eu-154	4,74E-02	7,05E-02	5,91E-02	2,18E-02	7,19E-04	5,34E-02
Eu-155	3,19E-02	4,17E-02	3,64E-02	3,80E-02	2,58E-02	2,89E-02
Ho-166m	9,58E-10	1,25E-09	8,25E-10	4,05E-10	5,27E-12	9,65E-10
Pb-210	4,11E-14	4,16E-14	1,01E-14	1,01E-14	1,94E-12	1,44E-13
Ra-224	5,25E-08	5,24E-08	2,78E-08	8,70E-09	1,22E-08	9,74E-08
Ra-226	8,65E-13	7,94E-13	3,31E-13	3,42E-13	5,07E-11	2,04E-12
Ra-228	1,05E-16	7,72E-17	4,00E-17	3,68E-17	1,45E-16	2,09E-16
Ac-227	1,74E-11	3,60E-11	1,22E-11	3,88E-12	3,81E-10	7,23E-11
Ac-228	1,05E-16	7,72E-17	4,00E-17	3,68E-17	1,45E-16	2,09E-16
Th-228	5,25E-08	5,23E-08	2,78E-08	8,70E-09	1,22E-08	9,73E-08
Th-229	4,21E-13	6,75E-13	3,09E-13	1,19E-13	7,44E-13	8,98E-13
Th-230	8,46E-10	6,95E-10	5,20E-10	5,41E-10	6,13E-08	1,36E-09
Th-232	5,42E-16	4,70E-16	3,55E-16	2,92E-16	8,63E-16	8,74E-16
Pa-231	1,70E-10	4,68E-10	2,05E-10	6,36E-11	6,48E-09	5,41E-10
Np-237	2,27E-06	2,47E-06	2,25E-06	1,30E-06	7,90E-07	2,47E-06
Am-241	1,11E-02	4,32E-03	3,14E-03	4,39E-03	8,58E-06	8,60E-03
Am-242m	2,78E-05	6,07E-05	1,99E-05	1,38E-05	2,53E-10	9,54E-05
Am-243	3,38E-05	5,14E-05	3,21E-05	1,12E-05	7,59E-12	3,62E-05
Cm-242	5,61E-04	5,36E-02	1,28E-02	1,50E-03	2,62E-09	1,26E-03
Cm-243	2,09E-05	6,26E-05	2,30E-05	3,48E-06	1,47E-12	4,15E-05
Cm-244	1,19E-03	2,87E-03	1,53E-03	2,13E-04	4,51E-12	1,55E-03
Cm-245	5,50E-08	1,54E-07	7,58E-08	5,15E-09	5,17E-18	8,20E-08
Cm-246	2,79E-08	1,15E-07	4,86E-08	1,09E-09	4,22E-20	5,12E-08
Cm-247	1,44E-14	8,57E-14	3,12E-14	2,39E-17	3,58E-28	3,23E-14
Cm-248	1,02E-14	8,83E-14	2,76E-14	7,17E-17	0,00E+00	2,82E-14
Cm-250	3,43E-22	2,19E-21	1,26E-21	8,39E-25	0,00E+00	5,35E-22
Cf-249	3,31E-14	2,52E-13	7,95E-14	9,60E-17	0,00E+00	1,06E-13
Cf-251	1,42E-16	2,71E-15	6,11E-16	1,20E-19	0,00E+00	6,12E-16
Cf-252	9,61E-15	5,02E-13	8,98E-14	4,85E-18	0,00E+00	5,23E-14

Tabelle 2.12: Fortsetzung: Nuklidvektoren (Bq pro Bq Cs-137, bezogen auf den jeweiligen Kampagnenstichtag) der WAK-Kampagnen [L5]

Nuklid	MZFR-2	KWO-2	KRB	KWO-3	MZFR-3
H-3	4,43E-03	4,20E-03	3,97E-03	4,39E-03	4,28E-03
Be-10	2,32E-12	6,06E-12	7,01E-12	5,60E-12	2,96E-12
C-14	4,27E-07	5,84E-07	7,60E-07	4,97E-07	5,23E-07
Cl-36	7,15E-13	4,70E-12	5,59E-12	4,65E-12	1,20E-12
Mn-54	3,94E-03	1,44E-03	3,47E-04	3,88E-03	1,46E-03
Fe-55	1,11E-01	9,24E-02	6,83E-02	1,13E-01	9,08E-02
Co-60	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02
Ni-59	5,19E-05	6,72E-05	8,98E-05	5,65E-05	6,33E-05
Ni-63	7,34E-03	9,33E-03	1,23E-02	7,91E-03	8,86E-03
Se-79	3,19E-06	4,56E-06	7,60E-06	3,21E-06	4,48E-06
Kr-85	1,04E-09	1,74E-08	9,00E-09	1,75E-08	1,63E-09
Rb-87	2,07E-10	2,26E-10	2,36E-10	2,19E-10	2,09E-10
Sr-90	6,85E-01	7,14E-01	7,06E-01	7,14E-01	6,67E-01
Zr-93	2,02E-05	2,12E-05	2,25E-05	1,76E-05	2,06E-05
Zr-95	8,60E-04	5,52E-06	3,33E-09	2,16E-03	3,66E-06
Nb-94	3,15E-06	4,04E-06	5,40E-06	3,38E-06	3,84E-06
Mo-93	2,11E-07	2,74E-07	3,66E-07	2,31E-07	2,57E-07
Tc-99	1,44E-04	1,40E-04	1,50E-04	1,33E-04	1,48E-04
Ru-106	1,23E+00	4,08E-01	1,05E-01	1,06E+00	4,92E-01
Pd-107	1,12E-06	1,01E-06	1,09E-06	9,80E-07	1,22E-06
Ag-108m	3,10E-10	2,68E-10	2,80E-10	2,63E-10	3,39E-10
Cd-113m	2,34E-04	2,71E-04	2,44E-04	2,94E-04	2,38E-04
Sn-119m	3,21E-03	8,64E-04	1,34E-04	3,25E-03	8,63E-04
Sn-126	5,72E-06	5,50E-06	5,82E-06	5,33E-06	6,09E-06
Sb-125	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02	5,00E-02
I-129	3,30E-07	3,23E-07	3,45E-07	3,12E-07	3,47E-07
Cs-134	1,72E-01	3,74E-01	1,61E-01	6,64E-01	1,24E-01
Cs-135	4,45E-06	3,87E-06	5,76E-06	3,85E-06	5,66E-06
Ce-144	1,86E+00	4,64E-01	7,65E-02	1,59E+00	5,10E-01
Pm-147	1,63E+00	7,53E-01	5,02E-01	9,87E-01	1,10E+00
Sm-151	9,66E-03	3,92E-03	4,65E-03	3,54E-03	9,11E-03
Eu-152	8,02E-05	5,04E-05	9,11E-05	5,04E-05	1,09E-04
Eu-154	2,73E-02	7,99E-02	6,16E-02	9,47E-02	2,89E-02
Eu-155	3,58E-02	3,86E-02	2,76E-02	4,97E-02	3,06E-02
Ho-166m	5,54E-10	2,59E-09	1,92E-09	3,21E-09	6,83E-10
Pb-210	1,58E-14	4,85E-14	1,83E-13	2,41E-14	4,22E-14
Ra-224	1,39E-08	1,33E-07	1,66E-07	1,01E-07	2,47E-08
Ra-226	4,37E-13	7,98E-13	2,15E-12	4,58E-13	8,01E-13
Ra-228	5,08E-17	1,62E-16	3,32E-16	9,35E-17	1,03E-16
Ac-227	5,34E-12	3,38E-11	7,28E-11	2,75E-11	1,05E-11
Ac-228	5,08E-17	1,62E-16	3,32E-16	9,35E-17	1,03E-16
Th-228	1,39E-08	1,33E-07	1,66E-07	1,01E-07	2,47E-08
Th-229	1,46E-13	6,84E-13	1,03E-12	7,32E-13	2,06E-13
Th-230	5,64E-10	6,23E-10	1,17E-09	4,24E-10	7,02E-10
Th-232	3,35E-16	7,14E-16	1,09E-15	5,19E-16	4,85E-16
Pa-231	6,82E-11	2,54E-10	3,98E-10	2,76E-10	9,16E-11
Np-237	1,36E-06	2,87E-06	2,81E-06	2,96E-06	1,42E-06
Am-241	6,27E-03	9,11E-03	1,54E-02	5,74E-03	9,39E-03
Am-242m	2,30E-05	3,75E-05	6,18E-05	3,89E-05	3,95E-05
Am-243	2,18E-05	1,15E-04	8,31E-05	1,31E-04	3,16E-05
Cm-242	1,28E-03	9,02E-04	1,08E-04	1,07E-02	3,20E-04
Cm-243	7,95E-06	9,28E-05	8,06E-05	1,18E-04	1,53E-05
Cm-244	5,17E-04	8,69E-03	4,50E-03	8,76E-03	8,17E-04
Cm-245	1,56E-08	6,36E-07	3,10E-07	8,66E-07	2,87E-08
Cm-246	4,23E-09	7,28E-07	2,70E-07	1,17E-06	8,94E-09
Cm-247	1,19E-15	7,99E-13	2,31E-13	1,49E-12	2,86E-15
Cm-248	4,54E-16	1,21E-12	2,74E-13	2,65E-12	1,24E-15
Cm-250	6,71E-24	1,09E-19	1,07E-20	2,85E-19	1,56E-23
Cf-249	8,06E-16	7,10E-12	1,37E-12	1,53E-11	2,65E-15
Cf-251	1,41E-18	7,84E-14	1,10E-14	2,26E-13	5,27E-18
Cf-252	6,36E-17	1,05E-11	7,15E-13	5,30E-11	1,91E-16

Die Zuordnung der in der Schachtanlage Asse eingelagerten Abfallgebinde zu bestimmten Kampagnen erfolgte anhand des Ausfertigungsdatums der zugehörigen Begleitliste und der Zeiträume der Kampagnen. Die Abfälle wurden nach Auskunft des FZK "produktionsnah" abgegeben, eine exakte Lagerzeit der Abfallprodukte im FZK konnte jedoch nicht genannt werden. Daher wurde eine mittlere Lagerzeit von 30 Tagen angesetzt. Der Einfluss der Lagerzeit auf das Nuklidinventar der Einlagerungskammern wurde durch Variationsrechnungen untersucht und bewertet (s. Kapitel 4.3) und im nuklidspezifischen Aktivitätsinventar für den Nachweis der Langzeitsicherheit berücksichtigt (s. Kapitel 5).

Da die Nuklidvektoren auf den Kampagnenstichtag bezogen sind, mussten sie für jede Abfallcharge auf den Ausfertigungstag der zugehörigen Begleitliste korrigiert werden. Die Herleitung der Umrechnung ist im Kasten 2.2 gezeigt. Für die Uran- und Plutonium-Nuklidvektoren war eine entsprechende Korrektur aufgrund der langen Halbwertszeiten der betroffenen Uran- und Plutoniumisotope nicht notwendig.

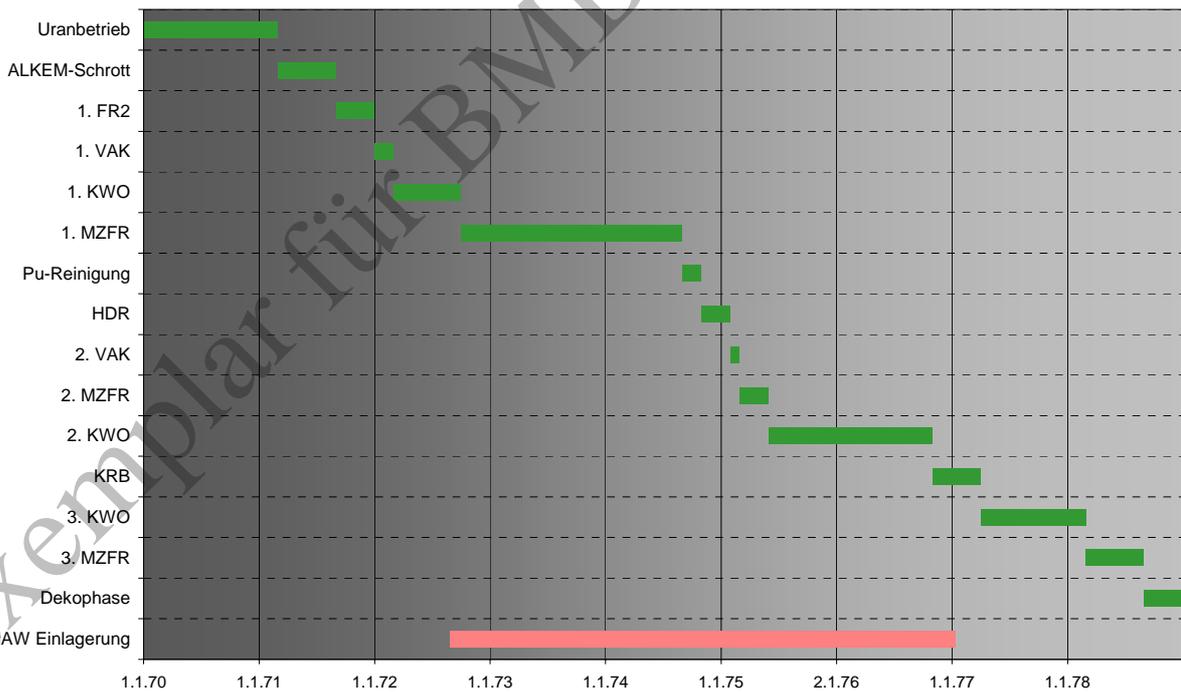


Abbildung 2.6: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der WAK-Kampagnen und der MAW-Einlagerungsphase in der Schachtanlage Asse

Die von der WAK angegebenen Nuklidvektoren sind nicht spezifisch für eine bestimmte Abfallart. Sie beziehen sich auf das Nuklidinventar eines Brennelementes vor dem Wiederaufar-

beitungsprozeß. Die Nuklidvektoren wurden durch Korigen-Rechnungen ermittelt und um einen Aktivierungsproduktanteil ergänzt, der von den Strukturteilen der Brennelemente stammt und im Auflöser erfahrungsgemäß mit in Lösung geht [L2]. In Absprache mit dem FZK wurde für einige Abfallarten ein vom allgemeinen Nuklidvektor abweichender Anteil der Aktivierungsprodukte an der Gesamtaktivität angesetzt. Bei Nennung mehrerer Abfallarten auf den Begleitlisten erfolgte die Einstufung anhand der erstgenannten Abfallart, da diese als dominierend betrachtet wurde. Bei den vom FZK als MAW eingestuften Schrott-Abfällen wurde ein Aktivierungsproduktanteil von 90 %, bei Hülsenabfällen von 100 % veranschlagt. Da das FZK und die Schachanlage Asse unterschiedliche Einteilungskriterien in MAW und LAW benutzten, FZK-MAW und Asse-MAW somit nicht identisch sind, wurden die FZK-MAW anhand der Verpackungsarten (hauptsächlich VBAs) identifiziert. Die diesbezüglich notwendige Modifikation der ursprünglichen Nuklidvektoren ist ebenfalls in Kasten 2.2 erläutert und anhand eines Rechenbeispiels in Kasten 2.3 verdeutlicht. Durch Variation der Aktivierungsprodukt-Anteile in den MAW des FZK wurde eine Unsicherheitsbetrachtung durchgeführt (s. Kapitel 4.3) und die Ergebnisse im nuklidspezifischen Aktivitätsinventar für den Nachweis der Langzeitsicherheit berücksichtigt (s. Kapitel 5).

Exemplar für BMBWF/BMLRT

Kasten 2.2: Umrechnung der Nuklidvektoren der WAK-Kampagnen auf den Ausfertigungstag der Begleitliste und auf bestimmte Aktivierungsproduktanteile

$X_{i,KST}$ sei das Verhältnis der Aktivität eines Nuklides i zur Gesamtaktivität A_{KST} eines Abfallgebundes am Kampagnenstichtag (KST). Die Aktivität $A_{i,KST}$ des Nuklides berechnet sich wie folgt:

$$A_{i,KST} = X_{i,KST} \cdot A_{KST} \quad (1)$$

Bis zum Ausfertigungstag (AT) der Begleitliste, im Zeitraum δt , nimmt die Aktivität des Nuklides mit der Zerfallskonstante λ_i ab gemäß:

$$A_{i,AT} = A_{i,KST} \cdot e^{-\lambda_i \cdot \delta t} = X_{i,KST} \cdot A_{KST} \cdot e^{-\lambda_i \cdot \delta t} \quad (2)$$

Die für eine Abfallcharge deklarierte mittlere Aktivität am Ausfertigungstag ist die Summe der Aktivitäten aller Nuklide:

$$A_{AT} = \sum A_{i,AT} = \sum (X_{i,KST} \cdot A_{KST} \cdot e^{-\lambda_i \cdot \delta t}) = A_{KST} \sum (X_{i,KST} \cdot e^{-\lambda_i \cdot \delta t}) \quad (3)$$

Löst man nach A_{KST} auf und setzt in (2) ein, so ergibt sich für $A_{i,AT}$:

$$A_{i,AT} = \frac{X_{i,KST} \cdot e^{-\lambda_i \cdot \delta t}}{\sum (X_{i,KST} \cdot e^{-\lambda_i \cdot \delta t})} \cdot A_{AT} = X_{i,AT} \cdot A_{AT} \quad (4)$$

$X_{Akt,AT}$ sei der Aktivitätsanteil aller Aktivierungsprodukte am Ausfertigungstag:

$$X_{Akt,AT} = \sum_{i=\text{Aktivierungsprodukt}} X_{i,AT} \quad (5)$$

Wird nun angenommen, dass die Aktivität aller Aktivierungsprodukte am Ausfertigungstag der Begleitliste nicht den Anteil $X_{Akt,AT}$, sondern den Anteil Y von A_{AT} darstellt, so berechnet sich die Aktivität eines bestimmten Aktivierungsproduktes am Ausfertigungstag nicht nach (4), sondern wie folgt:

$$A_{i,AT} = \frac{X_{i,AT}}{X_{Akt,AT}} \cdot Y \cdot A_{AT} \quad (6)$$

Die Aktivität eines Nichtaktivierungsproduktes berechnet sich dann entsprechend wie folgt:

$$A_{i,AT} = \frac{X_{i,AT}}{1 - X_{Akt,AT}} \cdot (1 - Y) \cdot A_{AT} \quad (7)$$

Kasten 2.3: Rechenbeispiel zu Kasten 2

Nach dem allgemeinen, auf den Ausfertigungstag der Begleitliste umgerechneten Nuklidvektor sei die Aktivität eines Gebindes wie folgt verteilt:

$$\text{Aktivierungsprodukte: } X_{Co-60,AT} = 0,4 \quad X_{Fe-55,AT} = 0,1$$

$$\text{Spaltprodukte: } X_{Cs-137,AT} = 0,3 \quad X_{Sr-90,AT} = 0,2$$

Der Aktivitätsanteil $X_{Akt,AT}$ aller Aktivierungsprodukte am Ausfertigungstag der Begleitliste wäre somit 0,5. Wird nun unterstellt, dass die Aktivierungsprodukte 90 % der Aktivität ausmachen, Y also 0,9 ist, so gilt für die neuen Aktivitätsanteile der vier Nuklide:

$$X_{Co-60,AT} = \frac{0,4}{0,5} \cdot 0,9 = 0,72$$

$$X_{Fe-55,AT} = \frac{0,1}{0,5} \cdot 0,9 = 0,18$$

$$X_{Cs-137,AT} = \frac{0,3}{1-0,5} \cdot (1-0,9) = 0,06$$

$$X_{Sr-90,AT} = \frac{0,2}{1-0,5} \cdot (1-0,9) = 0,04$$

Kernbrennstoffe

Bei einigen Chargen übersteigen die aus den deklarierten Kernbrennstoffmassen und den zugehörigen Nuklidvektoren berechneten Kernbrennstoffaktivitäten die Gesamtaktivitäten der Chargen. Dies kann darin begründet sein, dass die Aktivitäten von Pu-241 aufgrund dessen niederenergetischen β -Strahlung bei den Deklarationen vernachlässigt wurden. Aus diesem Grund wurden die auf den Begleitlisten deklarierten Aktivitäten vollständig den in den Nuklidvektoren aufgeführten Spalt- und Aktivierungsprodukten zugerechnet, die Kernbrennstoffaktivitäten hingegen aus den deklarierten Massen berechnet. Bezüglich des Urans waren bei den Abfällen des FZK meist Massen für U-235 und U-nat angegeben. Es konnte letztlich nicht geklärt werden, ob die angegebenen U-235-Massen die U-235-Anteile in den angegebenen U-nat-Massen einschließt. In Absprache mit dem FZK wurden daher die für eine Charge deklarierten Masseangaben zu U-235 und U-nat aufsummiert und anschließend mit dem zugehörigen Uran-Nuklidvektor auf die einzelnen Uranisotope umgelegt [L10]. Die in Masseanteile umgerechneten Nuklidvektoren sind auszugsweise in Tabelle 2.13 dargestellt. Massean-

gaben zu Thorium wurden stets als Th-232 interpretiert. Die Masseangaben von Plutonium, das gelegentlich als "Pu-239" statt "Plutonium" angegeben war, wurden in analoger Weise mit dem zugehörigen Vektor auf die einzelnen Isotope umgelegt.

Tabelle 2.13: Isotopenzusammensetzung (Massenprozent) des Urans der WAK-Kampagnen

Kampagne	U-234	U-235	U-238
Uranbetrieb	0,005*	0,51	99,45
Alkem-Schrott	0,005	0,72	99,27
FR 2	0,008	0,76	98,88
VAK-1	0,015	1,20	98,32
KWO-1	0,018	1,42	98,08
MZFR-1 Pu-Reinigung	0,005	0,37	99,37
HDR	0,023	2,95	96,79
VAK-2	0,016	1,32	98,24
MZFR-2	0,005	0,32	99,37
KWO-2	0,015	0,92	98,56
KRB	0,013	0,97	98,56
KWO-3	0,016	0,94	98,48
MZFR-3 Dekophase	0,005	0,28	99,45

* = keine Angabe von der WAK vorhanden, daher vom ISS an der oberen Grenze abgeschätzt

Reduzierung der Kernbrennstoffe (Uran und Plutonium) in den Abfällen der WAK

Im Rahmen eines Fachgespräches im FZK am 08.03.1999 wurde der GSF vom FZK ein Schreiben [L5] der WAK übergeben. Demnach wurden 9,579 kg Plutonium und 1,666 Mg Uran mit den Abfällen der WAK bzw. des FZK in der Schachanlage Asse eingelagert. Mit der Datenbank ASSEKAT errechnet sich die Gesamtmasse des mit den Abfällen des FZK eingelagerten Plutoniums auf 28,108 kg und die des Urans auf 4,540 Mg (Summe der in den Kernbrennstoffmeldungen deklarierten Massen ohne Zerfallskorrektur). Dies ist deutlich mehr als von der WAK in [L5] angegeben. Von Seiten der WAK wurde dargelegt, dass früher der Kernbrennstoffgehalt der Abfälle einer Wiederaufarbeitungskampagne in Abstimmung mit EURATOM auf 1/3 % des Kernbrennstoffgehalts der aufgearbeiteten Brennelemente geschätzt wurde. Da sich dieser Wert später als zu hoch erwies, wurde er auf 0,1 % reduziert.

Dies gilt sowohl für Plutonium als auch für Uran. Das Verhältnis von 3,33 zwischen dem alten und dem neuen Schätzwert entspricht ungefähr dem Verhältnis des Kernbrennstoffgehaltes nach der alten und der neuen Deklaration des FZK und erklärt somit die genannten Unterschiede. Die exakten Verhältnisse der Kernbrennstoffmassen nach [L5] und den früheren Kernbrennstoffmeldungen betragen 0,341 (1/2,93) für Plutonium bzw. 0,367 (1/2,72) für Uran. Zur Ermittlung des Radionuklidinventars wurden diese Faktoren zur Reduzierung der Kernbrennstoffmassen zum Ausfertigungstag der Abfallbegleitlisten verwendet.

Neuverteilung des Plutoniums in den Hauptabfallströmen der WAK-Abfälle

Auf eine Nachfrage der GSF hinsichtlich der Bewertung des Kernbrennstoffgehaltes der einzelnen Abfallarten wurden vom FZK mit Schreiben vom 30.10.2000 [L6] korrigierte Plutoniummassen in den Abfällen übergeben. Die in Tabelle 2 in [L6] aufgeführten Massen sind nach Auskunft des FZK belastbarer als die ursprünglich deklarierten. Nach Tabelle 2 in [L6] wurden nach dem neusten Kenntnisstand die in Tabelle 2.14 angegebenen Plutoniummassen in der Schachanlage Asse eingelagert. Dabei wurden allerdings die Plutoniummassen der Wiederaufarbeitungskampagnen VAK-1 und Alkemschrott, die in [L5] enthalten sind, nicht berücksichtigt. Nach [L5] enthielten die Abfälle dieser beiden Kampagnen 120 g Plutonium. Diese Masse wurde bei den weiteren Betrachtungen berücksichtigt. Die Gesamtmasse des mit den Abfällen des FZK eingelagerten Plutoniums beträgt demnach 9,579 kg (nicht zerfallskorrigiert). Die Neuverteilung des Plutoniums wird auch von ISS als vernünftig angesehen.

Tabelle 2.14: Plutoniummassen in den Hauptabfallströmen der WAK nach [L6]

Hauptabfallstrom	Plutoniummasse in g
MAW Harze	240,000
fest, nicht brennbar	725,480
fest, brennbar	331,238
flüssig, nicht brennbar	8.162,644
Gesamt	9.459,362

Dem FZK wurden die in der Datenbank ASSEKAT vorliegenden Abfallarten der eingelagerten Abfälle des FZK übermittelt. Diese Abfallarten wurden vom FZK den vier Hauptabfallströmen zugeordnet (s. Tabelle 2.15).

Tabelle 2.15: Zuordnung der plutoniumhaltigen Abfallarten zu den vier Hauptabfallströmen der WAK [L6]

Hauptabfallstrom	zugehörige Abfallarten
MAW Harze	Harze, Pu-Waste, Aktivkohle, Pu, Pu-Wasser
fest, nicht brennbar	kontaminierte Gegenstände, Metallteile, kontaminierte Teile, Bauschutt, Filter, Eisenteile, nicht brennbar, Beton, aktivierte Teile, Hülsenabfälle, Schrott
fest, brennbar	Papier, Asche, brennbar
flüssig, nicht brennbar	Konzentrat, Verdampferkonzentrat, betoniertes Wasser, Verdampferausstrag, Schlamm, Wasser, betoniertes Konzentrat, Fällschlamm, Bitumen

Weiterhin wurden vom FZK die relativen Anteile der Hauptabfallströme am gesamten Plutoniuminventar der eingelagerten Abfälle des FZK bestimmt. Tabelle 2.16 zeigt diese Massenanteile. Die Werte in Spalte 2 beziehen sich auf die in ASSEKAT vorliegenden Daten (Tabelle 1 in [L6]), Spalte 3 auf die Nachdeklaration (Tabelle 2 in [L6]). Werden die zu den Wiederaufarbeitungskampagnen VAK-1 und Alkemschrott gehörenden Plutoniummassen (120 g) bei der mittleren Verteilung von Plutonium auf die Hauptabfallströme berücksichtigt (s. o.), so ergeben sich die geringfügig von den in [L6] angegebenen Verteilungen abweichenden Werte in Spalte 4. Diese Mittelwerte wurden bei der Neuverteilung des Plutoniums in den Hauptabfallströmen der WAK verwendet.

Tabelle 2.16: Vergleich der prozentualen Plutoniummassenverteilung in den Hauptabfallströmen der WAK nach der neuen und alten Deklaration

Hauptabfallstrom	Alt [L6]	Neu [L6]	Neu korrigiert
MAW Harze	2,56	2,54	2,51
fest, nicht brennbar	31,6	7,67	7,57
fest, brennbar	18,1	3,50	3,53
flüssig, nicht brennbar	47,7	86,3	86,4

Die Kernbrennstoffgehalte in Gebinden mit Abfällen aus einem der vier Hauptabfallströme sind mit den in Tabelle 2.17 aufgeführten Korrekturfaktoren zu multiplizieren. Die Korrekturfaktoren wurden auf drei signifikante Stellen gerundet. Die bei der Auswertung der Datenbank getroffenen Zuordnungen wurden in der Datenbank hinterlegt (s. Anhang).

Tabelle 2.17: Korrekturfaktoren zur Neuverteilung des Plutoniums auf die vier Hauptabfallströme der WAK

Kennung	Hauptabfallstrom	Korrekturfaktor
1	MAW Harze	0,980
2	fest, nicht brennbar	0,240
3	fest, brennbar	0,195
4	flüssig, nicht brennbar	1,81

Zusammenfassend sind aufgrund der Reduzierung der Kernbrennstoffe und Neuverteilung des Plutoniums in den WAK-Abfällen folgende Rechenschritte durchzuführen:

- Die ursprünglich deklarierten Plutoniummassen sind mit dem Faktor 0,341 sowie den zugehörigen, von den Abfallart bzw. dem jeweiligen Hauptabfallstrom abhängigen Faktor aus Tabelle 2.17 zu multiplizieren. Insgesamt ergibt sich daraus eine Reduktion um den Faktor 0,0665 beim Hauptabfallstrom "fest, brennbar" bis 0,617 beim Hauptabfallstrom "flüssig, nicht brennbar". Der Faktor 0,341 ergibt sich aus dem Verhältnis der vom FZK nachträglich deklarierten Plutoniumgesamtmasse (9,579 kg) zu der ASSEKAT vorliegenden (28,108 kg), die den Kernbrennstoffmeldungen entnommenen wurde.
- Die ursprünglich deklarierten Uranmassen (Summe aus U-nat und U-235) sind mit dem Faktor 0,367 zu multiplizieren. Der Faktor 0,367 ergibt sich aus dem Verhältnis der vom FZK nachträglich deklarierten Urangesamtmasse (1,666 Mg) zu der ASSEKAT vorliegenden (4,540 Mg), die den Kernbrennstoffmeldungen entnommenen wurde. Die ursprünglich von FZK angegebene Verteilung des Urans auf die Abfälle bleibt bestehen. Eine Neuverteilung von Uran auf die vier Hauptabfallströme muss daher nicht durchgeführt werden.

Datenauswertung

Im Kasten 2.4 ist der Ablauf des Unterprogramms (Subprozedur) von PAI dargestellt, das speziell für die Auswertung der FZK-Abfälle entwickelt wurde. Die von der WAK angegebenen Nuklidvektoren der Spalt- und Aktivierungsprodukte (s. Tabelle 2.12) enthalten für jedes Nuklid das Aktivitätsverhältnis zu Cs-137 bezogen auf den Kampagnenstichtag. Diese Vektoren wurden im Vorfeld der Auswertung zunächst auf die Aktivitätsanteile der Nuklide an der Gesamtaktivität umgerechnet. Da einige Wiederaufarbeitungskampagnen in Relation zu den Halbwertszeiten einiger in den Nuklidvektoren aufgeführten Nuklide lange andauerten (s. Abbildung 2.6) wurden die Nuklidvektoren für jede Abfallcharge auf den Ausfertigungstag der zugehörigen Begleitliste umgerechnet (s. Kasten 2.4). Bei Abfallarten, für die ein höherer

Anteil an Aktivierungsprodukten angesetzt wurde, wurde mit den modifizierten Formeln (6) und (7) gearbeitet. Mit Hilfe der zerfalls- und abfallartkorrigierten Nuklidvektoren wurde anschließend die Chargenaktivitäten auf die Einzelnuklide umgelegt. Anschließend wurden die Kernbrennstoffmassen mit den Uran- und Plutoniumvektoren in die Aktivitäten der im Vektor angegebenen Isotope umgerechnet. Sofern Radiumangaben vorlagen, wurden diese im letzten Schritt der Subprozedur berücksichtigt.

Kasten 2.4: Subprozedur von PAI zur Berechnung der FZK-Aktivitäten

1. Ermittlung der zur Charge gehörenden WAK-Kampagne anhand des Ausfertigungsdatums der Begleitliste und einer Lagerzeit von 30 Tagen
2. Ermittlung der zugehörigen Nuklidvektoren
3. Umrechnung der Nuklidvektoren auf den Ausfertigungstag der Begleitliste
4. Umlegung der deklarierten Gesamtaktivität auf die im Nuklidvektor aufgeführten Radionuklide
5. Korrektur der deklarierten Kernbrennstoffmassen
6. Umrechnung der Kernbrennstoffmassen in die entsprechenden Aktivitäten
7. Auswertung zusätzlicher Radiumangaben (aus Tabelle RADIUM)

2.3.2.3 Abfälle aus Kernkraftwerken

Die Herkunft der KKW-Abfälle wurde bereits in Kapitel 2.3.2.1 erörtert. Abbildung 2.7 zeigt die Laufzeiten der Kernkraftwerke und Forschungsreaktoren (bis 1980), von denen Abfälle direkt oder indirekt an die Schachanlage Asse abgeliefert wurden. Zum Vergleich ist die Einlagerungsphase der Schachanlage Asse aufgetragen. Im Folgenden wird die Vorgehensweise bei der Aktivitätsbestimmung der KKW-Abfälle beschrieben. Bezüglich der Abfälle des VAK und des FRM 1 sei auf Kapitel 3 (Aktivitätsbeiträge der einzelnen Ablieferer) verwiesen. Vom MZFR wurden keine Abfälle direkt an die Schachanlage Asse abgeliefert, in der WAK wurden jedoch Brennelemente des MZFR aufgearbeitet (s. Kapitel 2.3.2.2).

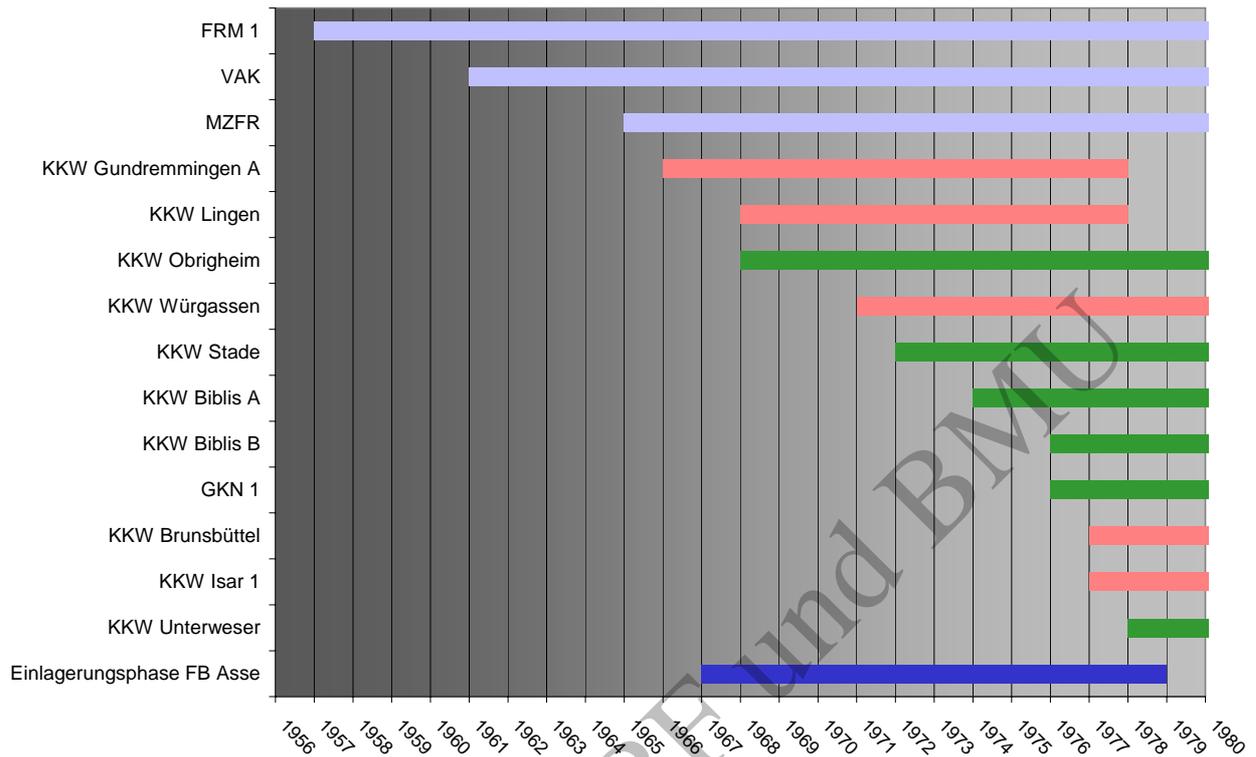


Abbildung 2.7: Laufzeiten verschiedener Forschungs- und Kernkraftwerksreaktoren (hellblau = Forschungs-/Versuchsreaktoren, rot = SWR, grün = DWR)

Zur Ermittlung der Nuklidvektoren der Kernkraftwerksabfälle wurde die Firma GNS hinzugezogen, die hinsichtlich der Aktivitätsbestimmung in radioaktiven Abfallprodukten von Kernkraftwerken über langjährige Erfahrung verfügt. Zunächst wurden in Abstimmung mit dem ISS die bei KKW-Abfällen vorkommenden Abfallarten zu vier Abfallgruppen zusammengefasst. Tabelle 2.18 enthält eine Aufstellung, welche Abfallarten welcher Abfallgruppe zugeordnet wurden. Da in der Datenbank eine Vielzahl von Bezeichnungen der Abfallarten bei den KKW-Abfallchargen vorlagen, wurden in Tabelle 2.18 ähnliche Abfallbezeichnungen typischen Abfallarten zugeordnet.

Tabelle 2.18: Zuordnung der KKW-Abfallarten zu den vier übergeordneten Abfallgruppen

Abfallgruppe	Abfallarten
1	Filter, Filterhilfsmittel, Schlämme, Verdampferkonzentrate, Ionenaustauscher, Borsäure, Natriumborat
2	Metalle, Schrott, Eisen, Blech, Strukturteile, Rohre
3	Bauschutt, Kies, Bodenbelag
4	Mischabfälle, Papier, Folien, Overalls, Überschuhe, Putzlappen, Holz, Glas

Auf Basis von vom ISS ausgewählten repräsentativen Datensätzen wurden von der GNS für die vier in Tabelle 2.18 aufgeführten Abfallgruppen und beide Reaktortypen SWR und DWR das Aktivitätsinventar von Referenzgebinden berechnet. Die Aktivitätsbestimmung erfolgte mit dem Programm AVK bzw. dem Modul AVK-MOPRO (Version 2.37) unter Verwendung von repräsentativen Datensätzen für Altabfälle. Das AVK ist ein Programm zur Kontrolle, Dokumentation und Aktivitätsbestimmung von KKW-Abfällen. Es entspricht den Anforderungen der BMU-Richtlinie zur 'Kontrolle radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die nicht an eine Landessammelstelle abgegeben werden' [L7, 8]. Das AVK-Modul MOPRO bzw. AVK-ELA wurde auch zur Aktivitätsbestimmung der im ERAM eingelagerten Altabfälle verwendet. Für die Aktivitätsbestimmung der in der Schachanlage Asse eingelagerten Abfälle wurden von der GNS Datensätze von Abfällen selektiert, die vor dem 01.01.1989 angefallen waren. Die detaillierte Vorgehensweise bei der Aktivitätsbestimmung der Referenzgebinde ist in [L9] dokumentiert und wird von ISS als plausibel angesehen. Die Radionuklidaktivitäten der Referenzgebinde sind in Tabelle 2.19 und Tabelle 2.20 zusammengestellt.

Exemplar für BMBF

Tabelle 2.19: Aktivitätsinventar der KKW-Referenzgebinde [L9]

Nuklid	DWR1	DWR2	DWR3	DWR4	SWR1	SWR2	SWR3	SWR4
C-14	9,509E+06	5,345E+07	6,871E+05	4,638E+06	5,524E+07	5,977E+07	4,261E+06	2,079E+06
Cl-36	3,500E+04	1,000E+04	1,000E+04	1,000E+04	3,500E+04	1,000E+04	1,000E+04	1,000E+04
Ca-41	1,546E+01	1,192E+02	8,461E-01	7,410E+00	1,142E+02	1,353E+02	6,729E+00	2,977E+00
Mn-54	9,864E+06	7,212E+07	5,653E+05	4,741E+06	1,796E+08	2,145E+08	1,035E+07	4,541E+06
Fe-55	6,862E+08	1,847E+09	9,488E+07	3,488E+08	2,111E+09	2,285E+09	1,629E+08	7,945E+07
Fe-59	1,090E+03	2,933E+03	1,507E+02	5,541E+02	3,354E+03	3,629E+03	2,587E+02	1,262E+02
Co-58	2,141E+05	1,650E+06	1,171E+04	1,026E+05	3,441E+04	4,077E+04	2,027E+03	8,969E+02
Co-60	6,722E+08	5,180E+09	3,678E+07	3,221E+08	4,964E+09	5,882E+09	2,925E+08	1,294E+08
Ni-63	5,717E+08	3,299E+09	4,036E+07	2,784E+08	2,378E+08	2,129E+08	3,214E+07	1,923E+07
Se-79	8,717E+02	2,905E+03	3,284E+01	2,521E+02	4,632E+04	3,644E+03	7,506E+02	1,721E+02
Rb-87	3,985E-02	1,328E-01	1,501E-03	1,152E-02	2,118E+00	1,666E-01	3,431E-02	7,868E-03
Sr-90	5,648E+06	1,203E+07	4,170E+05	1,923E+06	3,244E+08	2,406E+07	4,727E+06	1,037E+06
Zr-95	3,050E+04	1,464E+05	2,533E+03	1,501E+04	1,010E+05	1,060E+05	5,951E+03	2,633E+03
Nb-94	3,672E+05	2,293E+06	2,418E+04	1,780E+05	1,327E+06	1,282E+06	1,433E+05	7,902E+04
Nb-95	6,710E+04	3,221E+05	5,572E+03	3,302E+04	2,222E+05	2,332E+05	1,309E+04	5,792E+03
Ru-103	5,257E+02	1,388E+03	2,810E+01	1,655E+02	2,317E+03	4,225E+02	1,717E+02	7,415E+01
Ru-106	2,408E+07	6,357E+07	1,287E+06	7,581E+06	1,061E+08	1,935E+07	7,864E+06	3,397E+06
Ag-108m	1,175E+05	6,602E+05	8,488E+03	5,729E+04	6,108E+05	9,292E+05	1,716E+04	5,801E+03
Ag-110m	1,173E+07	6,593E+07	8,476E+05	5,721E+06	6,099E+07	9,280E+07	1,714E+06	5,793E+05
Cd-113m	7,200E+05	4,000E+05	4,000E+05	4,000E+05	2,405E+04	3,027E+04	1,184E+03	4,907E+02
Sn-126	3,132E+03	1,956E+04	2,063E+02	1,519E+03	1,971E+04	2,198E+04	1,390E+03	6,563E+02
Sb-124	8,690E+01	6,697E+02	4,755E+00	4,164E+01	6,417E+02	7,604E+02	3,781E+01	1,673E+01
Sb-125	2,846E+07	1,777E+08	1,875E+06	1,380E+07	1,791E+08	1,998E+08	1,263E+07	5,964E+06
I-129	8,459E+01	1,479E+02	4,734E+00	3,094E+01	3,791E+03	3,152E+02	6,493E+01	1,489E+01
Cs-134	4,506E+07	1,301E+08	2,105E+06	1,373E+07	1,742E+09	1,603E+08	3,746E+07	9,664E+06
Cs-137	2,491E+08	8,298E+08	9,383E+06	7,202E+07	1,323E+10	1,041E+09	2,145E+08	4,917E+07
Eu-152	2,543E+03	1,286E+04	2,016E+02	1,248E+03	1,364E+04	1,431E+04	1,151E+03	5,799E+02
Eu-154	1,211E+06	6,126E+06	9,599E+04	5,941E+05	6,493E+06	6,816E+06	5,479E+05	2,761E+05
Ra-228	3,635E-03	4,603E-03	0,000E+00	1,495E-03	2,260E-02	5,109E-03	2,470E-03	1,255E-03
Ac-227	8,980E-02	1,137E-01	1,447E-02	3,694E-02	5,584E-01	1,262E-01	6,103E-02	3,100E-02
Th-230	9,517E-02	1,205E-01	1,533E-02	3,916E-02	5,918E-01	1,338E-01	6,468E-02	3,285E-02
Th-232	3,635E-03	4,603E-03	0,000E+00	1,495E-03	2,260E-02	5,109E-03	2,470E-03	1,255E-03
Pa-231	8,980E-02	1,137E-01	1,447E-02	3,694E-02	5,584E-01	1,262E-01	6,103E-02	3,100E-02
U-232	6,841E+01	8,665E+01	1,102E+01	2,815E+01	4,254E+02	9,617E+01	4,650E+01	2,362E+01
U-233	2,352E-01	2,979E-01	3,789E-02	9,676E-02	1,463E+00	3,306E-01	1,598E-01	8,118E-02
U-234	2,566E+03	3,249E+03	4,133E+02	1,056E+03	1,595E+04	3,607E+03	1,744E+03	8,856E+02
U-235	3,955E+01	5,009E+01	6,372E+00	1,627E+01	2,460E+02	5,560E+01	2,688E+01	1,365E+01
U-238	1,069E+03	1,354E+03	1,722E+02	4,398E+02	6,648E+03	1,503E+03	7,265E+02	3,690E+02
Np-237	9,835E+02	1,246E+03	1,585E+02	4,046E+02	6,116E+03	1,383E+03	6,684E+02	3,395E+02
Pu-238	3,257E+04	1,335E+05	3,109E+03	1,617E+04	9,681E+04	9,209E+04	1,093E+04	6,128E+03
Pu-239	8,376E+03	3,434E+04	7,994E+02	4,159E+03	1,808E+04	1,786E+04	1,825E+03	9,820E+02
Pu-240	1,861E+04	7,631E+04	1,776E+03	9,242E+03	4,041E+04	3,992E+04	4,080E+03	2,195E+03
Pu-241	3,899E+06	2,135E+07	2,884E+05	1,905E+06	9,423E+06	1,020E+07	6,750E+05	2,986E+05
Pu-242	1,340E+02	5,494E+02	1,279E+01	6,654E+01	2,892E+02	2,858E+02	2,920E+01	1,571E+01
Am-241	3,304E+04	1,041E+05	3,976E+03	1,665E+04	2,904E+04	2,762E+04	3,280E+03	1,838E+03
Am-242m	7,931E+02	2,500E+03	9,544E+01	3,997E+02	6,970E+02	6,631E+02	7,873E+01	4,412E+01
Cm-244	1,608E+04	6,254E+04	1,607E+03	8,008E+03	7,061E+04	6,871E+04	7,456E+03	4,078E+03
Cm-245	3,699E+00	1,439E+01	3,698E-01	1,842E+00	1,624E+01	1,581E+01	1,715E+00	9,380E-01
Cm-246	6,594E-01	2,565E+00	6,591E-02	3,284E-01	2,895E+00	2,818E+00	3,057E-01	1,672E-01

Tabelle 2.20: Nuklidvektoren (in Bq/Bq Gesamtaktivität) der KKW-Abfallgruppen [L9]

Nuklid	DWR 1	DWR 2	DWR 3	DWR 4	SWR 1	SWR 2	SWR 3	SWR 4
C-14	4,10E-03	4,54E-03	3,62E-03	4,31E-03	2,38E-03	5,85E-03	5,45E-03	6,81E-03
Cl-36	1,51E-05	8,50E-07	5,26E-05	9,29E-06	1,51E-06	9,79E-07	1,28E-05	3,28E-05
Ca-41	6,66E-09	1,01E-08	4,45E-09	6,88E-09	4,92E-09	1,32E-08	8,60E-09	9,75E-09
Mn-54	4,25E-03	6,13E-03	2,97E-03	4,40E-03	7,74E-03	2,10E-02	1,32E-02	1,49E-02
Fe-55	2,96E-01	1,57E-01	4,99E-01	3,24E-01	9,10E-02	2,24E-01	2,08E-01	2,60E-01
Fe-59	4,70E-07	2,49E-07	7,93E-07	5,15E-07	1,45E-07	3,55E-07	3,31E-07	4,13E-07
Co-58	9,23E-05	1,40E-04	6,16E-05	9,53E-05	1,48E-06	3,99E-06	2,59E-06	2,94E-06
Co-60	2,90E-01	4,40E-01	1,94E-01	2,99E-01	2,14E-01	5,76E-01	3,74E-01	4,24E-01
Ni-63	2,46E-01	2,80E-01	2,12E-01	2,59E-01	1,02E-02	2,08E-02	4,11E-02	6,30E-02
Se-79	3,76E-07	2,47E-07	1,73E-07	2,34E-07	2,00E-06	3,57E-07	9,59E-07	5,64E-07
Rb-87	1,72E-11	1,13E-11	7,90E-12	1,07E-11	9,13E-11	1,63E-11	4,38E-11	2,58E-11
Sr-90	2,43E-03	1,02E-03	2,19E-03	1,79E-03	1,40E-02	2,36E-03	6,04E-03	3,40E-03
Zr-95	1,31E-05	1,24E-05	1,33E-05	1,39E-05	4,35E-06	1,04E-05	7,61E-06	8,63E-06
Nb-94	1,58E-04	1,95E-04	1,27E-04	1,65E-04	5,72E-05	1,26E-04	1,83E-04	2,59E-04
Nb-95	2,89E-05	2,74E-05	2,93E-05	3,07E-05	9,57E-06	2,28E-05	1,67E-05	1,90E-05
Ru-103	2,27E-07	1,18E-07	1,48E-07	1,54E-07	9,98E-08	4,14E-08	2,19E-07	2,43E-07
Ru-106	1,04E-02	5,40E-03	6,77E-03	7,04E-03	4,57E-03	1,89E-03	1,00E-02	1,11E-02
Ag-108m	5,06E-05	5,61E-05	4,47E-05	5,32E-05	2,63E-05	9,10E-05	2,19E-05	1,90E-05
Ag-110m	5,06E-03	5,60E-03	4,46E-03	5,31E-03	2,63E-03	9,09E-03	2,19E-03	1,90E-03
Cd-113m	3,10E-04	3,40E-05	2,10E-03	3,71E-04	1,04E-06	2,96E-06	1,51E-06	1,61E-06
Sn-126	1,35E-06	1,66E-06	1,09E-06	1,41E-06	8,49E-07	2,15E-06	1,78E-06	2,15E-06
Sb-124	3,75E-08	5,69E-08	2,50E-08	3,87E-08	2,76E-08	7,45E-08	4,83E-08	5,48E-08
Sb-125	1,23E-02	1,51E-02	9,87E-03	1,28E-02	7,72E-03	1,96E-02	1,61E-02	1,95E-02
I-129	3,65E-08	1,26E-08	2,49E-08	2,87E-08	1,63E-07	3,09E-08	8,30E-08	4,88E-08
Cs-134	1,94E-02	1,11E-02	1,11E-02	1,28E-02	7,51E-02	1,57E-02	4,79E-02	3,17E-02
Cs-137	1,07E-01	7,05E-02	4,94E-02	6,69E-02	5,70E-01	1,02E-01	2,74E-01	1,61E-01
Eu-152	1,10E-06	1,09E-06	1,06E-06	1,16E-06	5,88E-07	1,40E-06	1,47E-06	1,90E-06
Eu-154	5,22E-04	5,21E-04	5,05E-04	5,52E-04	2,80E-04	6,67E-04	7,00E-04	9,05E-04
Ra-228	1,57E-12	3,91E-13	0,00E+00	1,39E-12	9,74E-13	5,00E-13	3,16E-12	4,11E-12
Ac-227	3,87E-11	9,66E-12	7,61E-11	3,43E-11	2,41E-11	1,24E-11	7,80E-11	1,02E-10
Th-230	4,10E-11	1,02E-11	8,07E-11	3,64E-11	2,55E-11	1,31E-11	8,27E-11	1,08E-10
Th-232	1,57E-12	3,91E-13	0,00E+00	1,39E-12	9,74E-13	5,00E-13	3,16E-12	4,11E-12
Pa-231	3,87E-11	9,66E-12	7,61E-11	3,43E-11	2,41E-11	1,24E-11	7,80E-11	1,02E-10
U-232	2,95E-08	7,37E-09	5,80E-08	2,61E-08	1,83E-08	9,42E-09	5,94E-08	7,74E-08
U-233	1,01E-10	2,53E-11	1,99E-10	8,99E-11	6,30E-11	3,24E-11	2,04E-10	2,66E-10
U-234	1,11E-06	2,76E-07	2,17E-06	9,81E-07	6,87E-07	3,53E-07	2,23E-06	2,90E-06
U-235	1,70E-08	4,26E-09	3,35E-08	1,51E-08	1,06E-08	5,44E-09	3,44E-08	4,47E-08
U-238	4,61E-07	1,15E-07	9,06E-07	4,08E-07	2,86E-07	1,47E-07	9,28E-07	1,21E-06
Np-237	4,24E-07	1,06E-07	8,34E-07	3,76E-07	2,64E-07	1,35E-07	8,54E-07	1,11E-06
Pu-238	1,40E-05	1,13E-05	1,64E-05	1,50E-05	4,17E-06	9,02E-06	1,40E-05	2,01E-05
Pu-239	3,61E-06	2,92E-06	4,21E-06	3,86E-06	7,79E-07	1,75E-06	2,33E-06	3,22E-06
Pu-240	8,02E-06	6,49E-06	9,35E-06	8,58E-06	1,74E-06	3,91E-06	5,21E-06	7,19E-06
Pu-241	1,68E-03	1,81E-03	1,52E-03	1,77E-03	4,06E-04	9,99E-04	8,63E-04	9,78E-04
Pu-242	5,78E-08	4,67E-08	6,73E-08	6,18E-08	1,25E-08	2,80E-08	3,73E-08	5,15E-08
Am-241	1,42E-05	8,85E-06	2,09E-05	1,55E-05	1,25E-06	2,70E-06	4,19E-06	6,02E-06
Am-242m	3,42E-07	2,13E-07	5,02E-07	3,71E-07	3,00E-08	6,49E-08	1,01E-07	1,45E-07
Cm-244	6,93E-06	5,32E-06	8,46E-06	7,44E-06	3,04E-06	6,73E-06	9,53E-06	1,34E-05
Cm-245	1,59E-09	1,22E-09	1,95E-09	1,71E-09	7,00E-10	1,55E-09	2,19E-09	3,07E-09
Cm-246	2,84E-10	2,18E-10	3,47E-10	3,05E-10	1,25E-10	2,76E-10	3,91E-10	5,48E-10

Auf Basis des Aktivitätsinventars der Referenzgebinde wurden vom ISS für die Abfallgruppen SWR1 bis SWR4 bzw. DWR1 bis DWR4 auf die Gesamtaktivität bezogene Nuklidvektoren berechnet. Zusätzlich wurden für Abfälle unbekanntes Reaktortyps die Vektoren URT1 bis URT4 berechnet. Hierzu wurden von den zu einer Abfallgruppe gehörenden beiden Vektoren der jeweils höchste auf die Gesamtaktivität bezogene Aktivitätsanteil eines Nuklides herangezogen. Die URT-Vektoren decken somit die Radionuklidaktivitäten einer Abfallgruppe ungeachtet des Reaktortyps ab.

Mit Hilfe der so bestimmten Nuklidvektoren konnten die Gesamtaktivitäten von Abfallchargen in Einzelnuclidaktivitäten umgerechnet werden. Abbildung 2.8 zeigt eine Aufschlüsselung der nach der hier beschriebenen Methode ausgewerteten Aktivitäten. Da der Rückbau kerntechnischer Anlagen während der Einlagerungszeit der Schachanlage Asse nur eine untergeordnete Rolle spielte, wurden überwiegend Betriebsabfälle abgeliefert. Etwa 40 % der Gebinde mit KKW-Abfällen beinhalten verfestigte flüssige Abfälle (Abfallgruppe 1), auf die etwa 71 % der Hauptaktivität entfallen. In den Mischabfällen (Abfallgruppe 4), die etwa 43 % der hier betrachteten Abfallgebinde ausmachen, befinden sich etwa 15 % der deklarierten KKW-Gesamtaktivität. Die restlichen Abfallgebinde enthalten metallische Abfälle (Abfallgruppe 2) und Bauschutt (Abfallgruppe 3), deren Anteil an der Gesamtaktivität zusammen etwa 14 % ist.

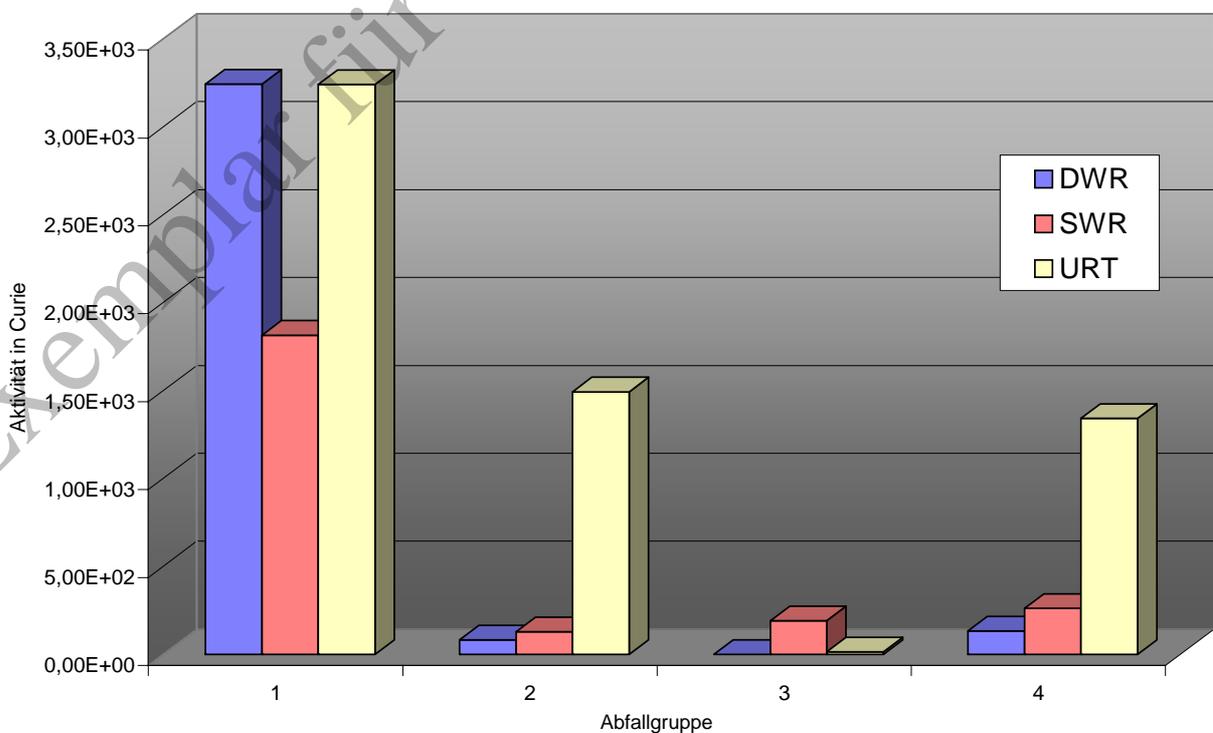


Abbildung 2.8: Aktivitätsgehalte der vier Abfallgruppen, aufgeschlüsselt nach SWR, DWR und unbestimmten Reaktortypen (URT)

Da bei der Bestimmung des Aktivitätsinventars der Referenzgebinde bereits ein mittleres Abfallalter von zwei Jahren unterstellt worden war, mussten die Nuklidvektoren nicht auf den Einlagerungszeitpunkt der einzelnen Abfallchargen korrigiert werden. Sofern für eine Abfallcharge mehrere Abfallarten angegeben waren, erfolgte die Zuordnung zu einer Abfallgruppe anhand der erstgenannten Abfallart, da diese als dominierend angesehen wurde. Diese Vorgehensweise ist hinreichend genau. Neben direkt von KKW abgelieferten Chargen wurden auch von den Firmen Transnuklear, Nukem, GNS, Steag, AEG/KWU, GNT und FZJ Abfälle abgeliefert, die ganz oder teilweise wie KKW-Abfälle eingestuft und entsprechend ausgewertet wurden.

2.3.2.4 Abfälle anderer Ablieferer

Für die Abfälle der verbleibenden Ablieferer wurde die allgemeine Vorgehensweise angewandt (s. Kapitel 2.3.1). Die Abfälle dieser Ablieferer werden mit den in Tabelle 2.8 aufgeführten Abfallmerkmalen bei der Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars berücksichtigt. Im Folgenden werden die Ermittlung des Thorium- und Uraninventars der Abfälle des HMI sowie der Firmen Transnuklear und Nukem beschrieben.

Abbildung 2.9 zeigt eine beispielhafte Begleitliste für thoriumhaltige Abfälle des HMI. Neben Thorium wurden häufig kurzlebige Nuklide wie Pm-147 (aus Herzschrittmachern) deklariert. In solchen Fällen wäre es nicht sinnvoll, die deklarierte Aktivität vollständig oder auch nur anteilig auf Th-232 umzulegen. Die in der abgebildeten Begleitliste angegebenen 0,2 Ci entsprechen beispielsweise einer Masse von 1,82 Mg Th-232 pro Gebinde. Nach Auskunft des HMI lagen die Thoriumaktivitäten zwischen 0,1 und 100 mCi, am häufigsten bei 3,6 mCi, die rund 33 kg Th-232 pro Gebinde entsprechen. Dieser Wert wurde von HMI als abdeckend betrachtet und daher für alle derartigen Abfälle herangezogen. Der Vergleich mit den entsprechenden Einlagerungsdokumenten, in denen exakte Aktivitätsangaben vorliegen (z. B. die Begleitlisten 2980 und 2984) zeigt, dass 3,6 mCi Th-232 pro Gebinde abdeckend sind. Die deklarierten Aktivitäten der Chargen wurden vollständig auf die übrigen deklarierten Nuklide umgelegt.

001571

Begleitliste
Zur Lagerung schwachradioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse in Remlingen
der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH · München

weiß - verbleibt bei der GSF
rot - erhält Abnehmer mit Ablieferungstermin zur GSK
gelb - erhält der Abnehmer als Bestätigung nach Ablieferung

200 l Behälter				Beschreibung der Abfallstoffe			mittlere Aktivität Ci/Behälter	Maximale Dosisleistung (mrem/h)	
Lfd. Nr.	Art*)	Abfallkategorie **)	Dosisleistungskategorie ***)	Art des radioaktiven Abfalls (z. B. Filter, Papier, verfestigte Fällschlamm)	Art der Behandlung (z. B. Bindemittel)	Nuklide (ersatzweise Angabe, ob Alpha-, Beta- Gammastrahler)		an der Außenseite	in 1 m Abstand
1 bis 28	RB	A+B	1	Gliedstrumpfe gepreßtes Papier Laborkäpfe	in Beton empfänglich	nat. Th., Pm-147	< 80	< 10	
29 bis 32	RR	A+B	1	Glied- strumpfe		nat. Th.	< 0,2	< 1	
33	RB	B	1	Eisenkeile	in Betonempfang	γ, β	< 100	< 10	
34 bis 78	RB	A+B	1	wie 1 bis 28	in Beton empfänglich	nat. Th., Pm-147	280	< 10	

Hiermit wird erklärt:
1. Die »Bedingungen für die Lagerung schwachradioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH · München« sind eingehalten.
2. Die Beförderung erfolgt durch: LKW
Schenker u. Co. (Spezial)
Strahlenschutzverantwortlicher:
Schiewer
Unterschrift
Anschrift des Ablieferers:
**Hahn-Meitner-Institut
für Kernforschung Berlin GmbH
Bereich Kernchemie und Reaktor
1 Berlin 39 · Glienicke-Strasse 100**
Telefon (030) 800 9294
Berlin, den 29.5.74
Schiewer
Rechtsverbindliche Unterschrift
Eventl. Rückfragen an: Neugebauer
Sachbearbeiter
Gewünschter Ablieferungstermin: 29.5.74

Abkürzungen:
*) BT = Blechtonnrel
BB = Blechtonnrel allseitig mit 5 cm Beton ausgekleidet
RS = Rollreifkass
RB = Rollreifkass allseitig mit 5 cm Beton ausgekleidet
RR = Rollreifkass
RE = Rollreifkass nach 2e der Bedingungen
**) Einteilung in Abfallkategorie A, B, C nach Anlage A der Bedingungen
***) Einteilung in Dosisleistungskategorie 1, 2, 3 nach Ziffer 3 der Bedingungen

Raum für Vermerke der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH · München

Der Ablieferer der oben beschriebenen schwachradioaktiven Abfallstoffe wird zugestimmt.
Die Abfallstoffe müssen am _____ ab _____ Uhr
an der Schachanlage Asse angeliefert werden.
Remlingen, den _____

Unterschrift

Die Übernahme der oben beschriebenen schwachradioaktiven Abfallstoffe am 29.5.74 wird bestätigt.
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH
Betriebsabteilung für Tief Lagerung
3341 Remlingen bei Wollensbüttel
Telefon 05336/452
Remlingen, den 29.5.74
Wollensbüttel
Unterschrift

Abbildung 2.9: Beispielhafte Begleitliste für gliedstrumpfhaltige Abfälle

Die Abfallbinde der Firmen Transnuklear und Nukem tragen wesentlich zum Uran- und Thoriuminventar bei. In einigen Fällen, wie auf der in Abbildung 2.9 gezeigten Begleitliste, wurden als Abfallarten Uran-Thorium-Verbindungen deklariert, die von der Firma Transnuklear als Abfallart 1 angegeben wurde. Auch in diesen Fällen würde die Umrechnung der deklarierten Aktivitäten in Th-232 zu unrealistisch hohen Thorium-Massen führen. Daher wurden in diesen Fällen die angegebenen Aktivitäten zunächst vollständig auf Uran umgelegt und für Th-232 die gleiche Masse wie für Uran angenommen. War dagegen eher von Kontaminationen auszugehen, wurde eine Kontaminationsmasse geschätzt (s. Kapitel 2.3.1, Tabelle 2.8).

002432

Begleitliste
Zur Lagerung schwachradioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse in Remlingen
der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH - München

weiß - verbleibt bei der GSF
rot - erhält Abnehmer mit Ablieferungstermin zurück
gelb - erhält der Abnehmer als Bestätigung nach Ablieferung

200 l Behälter				Beschreibung der Abfallstoffe			Masse und Art der Kernbrennstoffe	mittlere Aktivität G/l Behälter	Maximale Dosisleistung (mrem/h)		Hiermit wird erklärt:
Lfd. Nr.	Art*)	Abfallkategorie**)	Dosisleistungskategorie***)	Art des radioakt. Abfalls (z.B. Filter, Papier, verfestigte Fällschlamm)	Art der Behandlung (z.B. Bindemittel)	Nuklide (ersatzweise Angabe ob Alpha- oder Gammastrahler)			an der Außenseite	in 1 m Abstand	
1	460 RB	A	1	1	1	U+Th	/	0,005	< 1		
2	461 RB	A	1	4	1	U+Th	/	0,020	< 1		
1	462 RB	A	1	3	1	U+Th	/	0,010	< 1		
1	464 RB	A	1	4	1	U+Th	/	0,005	< 1		
1	465 RB	A	1	3	1	U+Th	/	0,005	< 1		
2	466 RB	A	1	3	1	U+Th	/	0,010	< 1		
7	467 RB	A	1	4	1	U+Th	/	0,035	< 1		
1	474 RB	A	1	4	1	U+Th	/	0,005	< 1		
1	475 RB	A	1	1	1	U+Th	/	0,005	< 1		
6	476 RB	A	1	3	1	U+Th	/	0,030	< 1		
1	482 RB	A	1	4	1	U+Th	/	0,005	< 1		
14	483 RB	A	1	3	1	U+Th	/	0,070	< 1		
1	496 RB	A	1	3	1	U+Th	/	0,070	< 1		
1	497 RB	A	1	5	1	U+Th	/	0,050	2	51	

Hiermit wird erklärt:
1. Die Bedingungen für die Lagerung schwachradioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH - München* sind eingehalten.
2. Die Beförderung erfolgt durch: DB

Strahlenschutzverantwortlicher:
Handwritten Signature
Unterschrift

Anschrift des Ablieferers:
TRANSNUKLEAR GmbH
6450 Hanau
Postfach 348
Auftrag 04/2120-01
Telefon 06181/500-454
Hanau, den 29.11.74
ppa. *Handwritten Signature*
Bechtsverbindliche Unterschrift
645 Hanau, Main
Eventl. Rückfrage an: Fach-Straß
Gewünschter Ablieferungstermin: 16.12.74

Raum für Vermerke der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH - München

Der Ablieferung der oben beschriebenen schwachradioaktiven Abfallstoffe wird zugestimmt.
Die Abfallstoffe müssen am 16.12.74 ab 8:00 Uhr an der Schachanlage Asse angeliefert werden.
Remlingen, den 5.12.74
Handwritten Signature
Unterschrift

Die Übernahme der oben beschriebenen schwachradioaktiven Abfallstoffe am 17.12.74 wird bestätigt.
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH
Institut für Lagerung - Technische Abteilung
Schachanlage Asse II
3341 Remlingen über Muffenbühl
Telefon 05336/455
Remlingen, den 18.12.74
Handwritten Signature
Unterschrift

38

Abkürzungen:
*) BT = Blechtrommel
BB = Blechtrummel allseitig mit 5 cm Beton ausgekleidet
RB = Rollsockenfass
RD = Rollsockenfass allseitig mit 5 cm Beton ausgekleidet
RR = Rollreifentass
RE = Rollreifentass nach 2e der Bedingungen
**) Einteilung in Abfallkategorie A, B, C nach Anlage A der Bedingungen
***) Einteilung in Dosisleistungskategorie 1, 2, 3 nach Ziffer 3 der Bedingungen

Abbildung 2.10: Beispielhafte Begleitliste für Uran/Thorium-Abfälle

3 Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar

Die durchgeführten Recherchen und Befragungen haben ergeben, dass die damals von den Ablieferern deklarierten Aktivitäten in den Einlagerungsdokumenten aus praktischen Erwägungen überwiegend zu hoch angesetzt worden sind. Die nachträgliche Berechnung des Radionuklidinventars erfolgte mit den in Kapitel 2 beschriebenen allgemeinen und abliefererspezifischen Vorgehensweisen. Um eine bestmögliche Vergleichbarkeit zwischen den Eingangsdaten, bezogen auf den jeweiligen Einlagerungszeitpunkt, mit den Ergebnissen am Ende der Einlagerung zu erhalten, wurde der 01.01.1980 als Stichtag gewählt.

Es wurde ein nuklidspezifisches Aktivitätsinventar je Einlagerungskammer ermittelt. Nuklide, deren Aktivität zum Stichtag weniger als 1 Bq pro Abfallcharge betrug, wurden nicht berücksichtigt, da ihr Beitrag am Radionuklidinventar vernachlässigbar ist. Im nuklidspezifischen Aktivitätsinventar sind Nuklide enthalten, deren Halbwertszeiten größer als die von Fe-55 (2,73 Jahre) sind. Kurzlebige Nuklide wurden bei der Aktivitätsinventarberechnung berücksichtigt, jedoch nicht im nuklidspezifischen Aktivitätsinventar (Tabelle 3.2) aufgenommen.

Tabelle 3.1 zeigt eine nach Ablieferern geordnete Aufstellung der in der Schachanlage Asse eingelagerten Massen von Ra-226, Th-232, Uran und Plutonium zum Stichtag 01.01.1980.

Zur Verifizierung der mittels PAI ("Program zur Aktualisierung des Asse-Inventars") berechneten Einzelnuklidaktivitäten wurden im folgenden die Eingangsdaten mit den Ergebnissen der Tabelle 3.1 und Tabelle 3.2 verglichen.

Wie in Kapitel 2.3.2.2 beschrieben, wurden vom FZK Masseangaben zu Uran und Plutonium nicht auf den Begleitlisten deklariert, sondern in separaten Einlagerungsdokumenten. Des weiteren wird in Kapitel 4.2 beschrieben, dass FZK bei der Deklaration der Gesamtaktivität die Aktivität von Pu-241, dessen niederenergetische β -Strahlung radiologisch unbedeutend ist, vernachlässigt hat. Das Pu-241 trägt aber aufgrund seiner sehr hohen spezifischen Aktivität mit über $2,4E+15$ Bq ($6,4E+04$ Ci) maßgeblich zum nuklidspezifischen Aktivitätsinventar der eingelagerten FZK-Abfälle bei. Beim Vergleich der Eingangsdaten mit dem ermittelten nuklidspezifischen Aktivitätsinventar (Tabelle 3.2) wurden die Kernbrennstoffe des FZK ausgeschlossen.

Ra-226-, Th-232-, Uran- und Plutonium-Massen

Das aus der Summe der deklarierten Radiumaktivitäten berechnete Ra-226-Inventar beträgt 1,574 g, das konservativ abgeschätzte 5,527 g (nicht zerfallskorrigiert, s. Kapitel 6.6 in [L1] sowie Kapitel 2.2). Im Zuge der Ermittlung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars wurden die in [L1] abgeschätzten Radiumaktivitäten aufgrund neuerer Erkenntnisse geringfügig

modifiziert. Aufgrund des radioaktiven Zerfalls beträgt die Radiummasse zum Stichtag 01.01.1980 noch 5,515 g.

Das berechnete Plutoniuminventar (9,447 kg) stimmt sehr gut mit dem vom FZK deklarierten Plutonium (9,579 kg, nicht zerfallskorrigiert) überein. Aufgrund der relativ kurzen Halbwertszeit von Pu-241 (14,35 a) hat die Summe der deklarierten Plutoniummassen zum o. g. Stichtag bereits geringfügig abgenommen.

Die berechneten Thorium-Massen wurden für die Hauptablieferer (HMI, Transnuklear und Nukem) nachvollzogen. Bei HMI liefern die 1.381 Gebinde mit Glühstrümpfen (3,6 mCi Th-232 je Gebinde) mit über 45 Mg den Hauptanteil der von HMI abgelieferten Thorium-Masse. Bei Transnuklear und Nukem liefern diejenigen Gebinde das gesamte Thorium-Inventar, für die als Abfallart Uran/Thorium-Verbindungen deklariert wurden. Die Ergebnisse der berechneten Thorium-Inventare der v. g. Ablieferer konnten vollständig nachvollzogen werden.

Das von Nukem und Transnuklear abgelieferte Uran-Inventar befindet sich hauptsächlich in Gebinden mit Uran/Thorium-Verbindungen sowie weiteren uranhaltigen Abfällen. Zur Ermittlung des Uran-Inventars wurden die in Tabelle 2.8 aufgeführten Vorgehensweisen herangezogen. Die Ergebnisse konnten auch hier vollständig nachvollzogen werden.

Aktivitätsinventar in den LAW-Kammern

Für die von FZK abgelieferten Gebinde wurden insgesamt $5,6E+04$ Ci Gesamtaktivität angegeben; die Ermittlung der Einzelnuklidaktivitäten erfolgte mit den Nuklidvektoren der WAK-Kampagnen. Da hier die Aktivitätsanteile der kurzlebigen Nuklide (s. Tabelle 2.12: Fe-55, Ru-106, Cs-134, Ce-144, Pm-147) einen hohen Anteil ausmachen, haben sich zum Stichtag 01.01.1980 die ausgewiesenen Einzelnuklidaktivitäten – ohne Kernbrennstoffe - durch den radioaktiven Zerfall bereits auf $8,5E+14$ Bq ($2,3E+04$ Ci) reduziert. Die Hauptaktivitätsanteile entfallen auf Co-60 (7 %), Sr-90 (34 %) und Cs-137 (50 %).

Die deklarierte Gesamtaktivität der KWW-Abfälle beträgt $1,1E+04$ Ci. Die zugehörigen Einzelnuklidaktivitäten wurden mittels abfallspezifischen Nuklidvektoren für die unterschiedlichen Reaktortypen berechnet. Zum v. g. Stichtag beträgt die Summe der Einzelnuklidaktivitäten noch $2,9E+14$ Bq ($8,0E+03$ Ci). Die größten Aktivitätsanteile entfallen auf Co-60 (28 %), Ni-63 (27 %) und Cs-137 (42 %) und sind nachvollziehbar.

Für die Abfallgebände der restlichen Ablieferer wurden insgesamt $8,2E+03$ Ci deklariert. Hier sind auch die Gebinde enthalten, die maßgeblich zum Uran- und Thorium-Inventar beitragen. Zum v. g. Stichtag beträgt die Summe der ausgewiesenen Einzelnuklidaktivitäten noch $1,5E+14$ Bq ($4,2E+03$ Ci). Die Reduzierung lässt sich durch die Aktivitätsanteile der kurzle-

bigen Nuklide (z. B. Pm-147) erklären. Co-60 trägt mit 87 % und Cs-137 mit 8 % am Gesamtaktivitätsinventar dieser Abfälle bei.

Aktivitätsinventar in der MAW-Kammer

Für die von FZK abgelieferten Gebinde (1.265 Stück 200-l-Fässer) wurden insgesamt $1,33\text{E}+05$ Ci Gesamtaktivität angegeben; die Ermittlung der Einzelnuklidaktivitäten erfolgte - wie in den LAW-Kammern - mit den Nuklidvektoren der WAK-Kampagnen. Bei den von FZK als MAW eingestuften Schrott- und Hülsen-Abfällen wurden höhere Aktivierungsproduktanteile (90 % bzw. 100 %) angesetzt. Da die Gebinde mit Metallteilen und Schrott mit hohen Aktivitäten in der MAW-Kammer die Hauptaktivitätsträger sind (s. Kapitel 2.3.2.1), werden in der MAW-Kammer die Aktivierungsproduktaktivitäten höher bewertet als in den LAW-Kammern. Die Aktivitätsanteile der kurzlebigen Spaltprodukte (Ru-106, Cs-134, Ce-144, Pm-147) haben dadurch einen geringeren Anteil. Zum Stichtag 01.01.1980 haben sich die ausgewiesenen Einzelnuklidaktivitäten – ohne Kernbrennstoffe - durch den radioaktiven Zerfall bereits auf $3,2\text{E}+15$ Bq ($8,6\text{E}+04$ Ci) reduziert. Die größten Aktivitätsanteile entfallen auf Co-60 (67 %), Ni-63 (22 %) und Cs-137 (7 %).

Für die Abfallgebände der restlichen Ablieferer (Amersham Buchler: 7 Stück 200-l-Fässer mit $4,0\text{E}+01$ Ci, GKSS: 21 Stück 200-l-Fässer mit $1,8\text{E}+03$ Ci und FZJ: 8 Stück 200-l-Fässer mit $1,0\text{E}+03$ Ci) betragen die ausgewiesenen Einzelnuklidaktivitäten zum v. g. Stichtag noch $4,6\text{E}+13$ Bq ($1,2\text{E}+03$ Ci). Co-60 trägt mit 64 %, Ni-63 mit 21 % und Cs-137 mit 6 % am Gesamtaktivitätsinventar dieser Abfälle bei.

Fazit

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse der Rechnungen, die mit PAI durchgeführt worden sind, im Einklang mit den Eingangsdaten stehen. Sowohl die Massen des Ra-226, Plutonium, Th-232 und Uran (Tabelle 3.1) als auch die mit PAI berechneten Einzelnuklidaktivitäten in den LAW-Kammern und der MAW-Kammer (Tabelle 3.2) konnten durch vergleichende Rechnungen logisch nachvollzogen werden.

Tabelle 3.1: Ra-226-, Th-232-, Uran- und Plutoniummassen in der Schachtanlage Asse (bezogen auf den 01.01.1980)

Ablieferer	Ra-226 g	Th-232 Mg	Uran Mg	Plutonium kg
Amersham-Buchler	2,500			
Bundeswehr	0,248			
Conradty		0,682		
FRM 1/TU München	0,031		0,002	
FZJ	0,053	0,186	1,059	0,013
FZK	1,088	0,023	1,666	9,447
GKSS			0,155	
GNS			0,002	
GSF, Hannover	0,012	0,064	0,010	
GSF, Neuherberg	1,414	0,001	0,207	0,002
HMI	0,056	50,963	0,738	0,005
KRT			0,910	
KWO			0,002	
KWU, Erlangen			0,016	0,001
KWU, Karlstein			0,006	
Meß- u. Prüfstelle für die Gewerbeaufsichtsverwaltung des Landes Hessen	0,113	0,144	0,143	
Nukem		5,599	60,126	
RBU			2,471	
Steag			0,005	
Transnuklear		26,013	33,256	0,001
Gesamt	5,515	83,674	100,775	9,469

Tabelle 3.2: Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Schachtanlage Asse (in Bq, bezogen auf den 01.01.1980)

KaNr	1/750m	2/750m	2/750mNA2	4/750m	5/750m	6/750m	7/725m
H-3	7,33E+10	7,95E+09	1,08E+11	6,47E+09	4,11E+10	6,86E+11	4,41E+10
Be-10	3,43E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,28E+01	4,62E+02	1,16E+01
C-14	3,77E+10	6,34E+10	3,88E+11	1,49E+09	2,42E+11	3,56E+11	4,09E+10
Cl-36	1,21E+08	1,61E+08	6,10E+08	2,38E+06	7,72E+08	1,02E+09	6,36E+07
Ca-41	5,47E+04	9,29E+04	1,83E+05	1,17E+03	3,90E+05	5,42E+05	1,92E+04
Co-60	1,70E+12	4,68E+12	7,90E+12	1,58E+10	1,18E+13	1,55E+14	1,28E+12
Ni-59	3,47E+08	1,03E+08	5,47E+07	0,00E+00	3,27E+09	5,10E+10	2,09E+08
Ni-63	1,25E+12	2,35E+12	4,83E+12	3,25E+10	1,21E+13	2,28E+13	5,34E+11
Se-79	2,50E+07	2,03E+07	2,53E+07	1,02E+05	1,07E+08	8,42E+08	1,60E+07
Rb-87	1,42E+03	1,00E+03	9,11E+02	2,84E+00	4,83E+03	3,92E+04	7,05E+02
Sr-90	5,08E+12	1,57E+12	9,74E+11	7,12E+08	6,37E+12	1,11E+14	2,12E+12
Zr-93	1,28E+08	4,50E+07	1,50E+07	0,00E+00	1,84E+08	3,53E+09	6,52E+07
Nb-94	1,27E+09	1,96E+09	3,81E+09	2,88E+07	8,51E+09	1,23E+10	4,47E+08
Mo-93	1,41E+06	4,18E+05	2,23E+05	0,00E+00	2,38E+06	4,41E+07	8,51E+05
Tc-99	1,53E+09	3,07E+08	4,00E+09	0,00E+00	1,29E+09	2,57E+10	9,33E+08
Pd-107	6,29E+06	1,90E+06	7,78E+05	0,00E+00	8,89E+06	2,09E+08	3,12E+06
Ag-108m	3,00E+08	5,96E+08	1,21E+09	7,18E+06	2,82E+09	3,74E+09	1,18E+08
Cd-113m	1,89E+09	2,03E+09	5,12E+09	2,94E+07	1,43E+10	5,57E+10	1,38E+09
Sn-126	4,37E+07	2,87E+07	3,95E+07	2,44E+05	1,25E+08	1,15E+09	2,08E+07
Sb-125	5,02E+10	4,60E+10	2,21E+11	2,37E+08	4,02E+11	6,64E+12	6,32E+10
I-129	2,41E+06	1,82E+06	2,05E+06	9,37E+03	8,35E+06	6,60E+07	1,14E+06
Cs-135	2,32E+07	8,75E+06	3,80E+06	0,00E+00	3,82E+07	9,69E+08	1,21E+07
Cs-137	7,82E+12	1,18E+13	7,40E+12	2,44E+10	2,60E+13	1,87E+14	4,46E+12
Ba-133	0,00E+00	0,00E+00	2,26E+07	0,00E+00	6,85E+07	0,00E+00	0,00E+00
Sm-151	3,60E+10	1,58E+10	3,86E+09	0,00E+00	4,29E+10	1,54E+12	1,17E+10
Eu-152	2,93E+08	1,12E+08	7,95E+07	1,30E+05	5,06E+08	1,74E+10	1,31E+08
Eu-154	1,56E+11	5,38E+10	4,38E+10	4,74E+07	4,23E+11	4,43E+12	1,70E+11
Ho-166m	5,65E+03	1,34E+03	1,16E+03	0,00E+00	1,76E+04	1,17E+05	7,87E+03
Pb-210	1,18E+10	1,20E+09	6,64E+09	4,76E+08	7,19E+08	4,11E+08	1,25E+09
Ra-226	5,63E+10	6,10E+09	9,77E+10	1,54E+09	3,07E+09	1,23E+10	3,02E+09
Ra-228	9,27E+09	1,05E+00	1,17E+10	8,75E+07	5,07E+07	7,76E+01	2,89E+08
Th-232	1,12E+10	2,07E+10	1,83E+10	1,43E+10	1,60E+09	4,88E+09	1,30E+10
Pa-231	1,36E+03	6,45E+02	7,10E+08	5,75E+00	4,16E+03	1,87E+04	2,41E+06
U-232	3,99E+07	3,53E+06	2,69E+07	5,33E+03	5,09E+07	6,03E+06	1,92E+08
U-233	6,17E+05	6,02E+04	3,63E+08	1,88E+01	7,38E+06	5,00E+04	3,57E+08
U-234	3,05E+11	2,02E+09	2,55E+11	2,20E+11	4,08E+09	1,51E+09	1,03E+11
U-235	1,37E+10	5,72E+07	6,17E+09	9,28E+09	9,62E+07	1,02E+08	4,42E+09
U-236	1,78E+09	2,16E+08	3,78E+08	0,00E+00	7,77E+08	1,92E+08	2,59E+09
U-238	2,89E+11	1,59E+09	2,66E+11	2,06E+11	1,61E+09	2,17E+09	9,36E+10
Np-237	2,25E+07	1,12E+07	1,25E+07	8,37E+04	4,62E+07	2,77E+08	1,06E+07
Pu-238	1,84E+12	8,56E+11	3,01E+11	2,33E+06	2,64E+12	1,57E+12	1,46E+12
Pu-239	1,92E+12	1,23E+12	1,45E+11	5,83E+05	8,90E+11	2,18E+12	3,74E+11
Pu-240	1,65E+12	1,27E+12	1,62E+11	1,30E+06	1,07E+12	2,96E+12	4,78E+11
Pu-241	2,26E+14	1,23E+14	2,48E+13	1,65E+08	1,69E+14	3,28E+14	8,26E+13
Pu-242	2,19E+09	1,21E+09	3,21E+08	9,33E+03	2,54E+09	3,91E+09	1,38E+09
Pu-244	1,34E+02	4,18E+01	1,57E+01	0,00E+00	3,34E+02	4,18E+01	2,11E+02
Am-241	3,45E+12	1,65E+12	1,37E+11	5,00E+06	1,43E+12	2,24E+12	6,27E+11
Am-242m	1,61E+08	3,93E+07	4,26E+07	4,87E+04	3,64E+08	6,73E+09	1,16E+08
Am-243	2,04E+08	4,98E+07	5,49E+07	0,00E+00	7,73E+08	5,41E+09	3,51E+08
Cm-243	1,11E+08	2,60E+07	4,55E+07	0,00E+00	5,71E+08	2,52E+09	2,55E+08
Cm-244	5,70E+09	1,60E+09	2,87E+09	9,55E+05	4,59E+10	1,33E+11	2,21E+10
Cm-245	3,80E+05	1,16E+05	2,70E+05	3,07E+02	3,98E+06	5,03E+06	1,93E+06
Cm-246	2,04E+05	6,33E+04	2,48E+05	5,44E+01	4,32E+06	1,55E+06	2,19E+06
Cf-249	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,09E+01	0,00E+00	1,57E+01
α	9,55E+12	5,04E+12	1,39E+12	4,51E+11	6,10E+12	9,11E+12	3,18E+12
β/γ	2,42E+14	1,43E+14	4,67E+13	8,24E+10	2,27E+14	8,17E+14	9,13E+13

Tabelle 3.2: Fortsetzung: Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Schachanlage Asse
(in Bq, bezogen auf den 01.01.1980)

KaNr	7/750m	8/750m	10/750m	11/750m	12/750m	8a/511m	LAW	Gesamt
H-3	6,71E+11	1,26E+11	2,84E+10	2,60E+11	7,38E+10	7,48E+11	2,13E+12	2,87E+12
Be-10	7,98E+02	0,00E+00	4,71E+00	2,09E+02	2,74E+01	1,08E+03	1,54E+03	2,62E+03
C-14	1,55E+11	2,05E+11	3,87E+10	7,53E+11	1,47E+11	2,23E+11	2,43E+12	2,65E+12
Cl-36	4,59E+08	1,41E+08	5,45E+07	3,37E+09	4,20E+08	3,73E+07	7,20E+09	7,23E+09
Ca-41	2,42E+05	6,05E+04	2,80E+04	1,12E+06	2,03E+05	5,05E+05	2,93E+06	3,44E+06
Co-60	1,99E+13	1,63E+12	1,07E+12	6,99E+13	4,51E+12	2,12E+15	2,79E+14	2,40E+15
Ni-59	1,90E+10	6,87E+07	1,31E+08	3,22E+10	9,87E+08	5,19E+12	1,07E+11	5,30E+12
Ni-63	6,08E+12	1,18E+12	6,95E+11	3,77E+13	4,12E+12	7,08E+14	9,36E+13	8,01E+14
Se-79	6,90E+08	9,85E+06	9,96E+06	4,43E+08	7,52E+07	1,07E+09	2,26E+09	3,34E+09
Rb-87	3,99E+04	3,37E+02	5,96E+02	2,30E+04	4,94E+03	5,28E+04	1,17E+05	1,70E+05
Sr-90	1,15E+14	8,91E+11	1,77E+12	4,12E+13	1,25E+13	1,48E+14	2,98E+14	4,46E+14
Zr-93	3,26E+09	2,48E+07	5,48E+07	1,18E+09	4,19E+08	4,92E+09	8,90E+09	1,38E+10
Nb-94	5,35E+09	1,37E+09	6,21E+08	2,55E+10	4,46E+09	8,35E+09	6,56E+10	7,40E+10
Mo-93	4,18E+07	2,79E+05	5,32E+05	1,45E+07	4,00E+06	6,27E+07	1,10E+08	1,73E+08
Tc-99	2,48E+10	1,67E+08	2,10E+09	8,52E+09	3,00E+09	3,28E+10	7,23E+10	1,05E+11
Pd-107	1,86E+08	1,08E+06	2,71E+06	5,87E+07	2,08E+07	2,37E+08	4,99E+08	7,36E+08
Ag-108m	1,28E+09	3,16E+08	1,68E+08	7,65E+09	1,07E+09	3,45E+09	1,93E+10	2,27E+10
Cd-113m	4,64E+10	1,31E+09	9,70E+08	4,81E+10	6,22E+09	4,93E+10	1,83E+11	2,33E+11
Sn-126	1,02E+09	1,84E+07	1,99E+07	5,46E+08	1,51E+08	1,36E+09	3,17E+09	4,53E+09
Sb-125	5,02E+12	4,99E+10	3,89E+10	1,97E+12	2,48E+11	3,89E+12	1,48E+13	1,86E+13
I-129	6,08E+07	7,93E+05	1,01E+06	3,66E+07	7,71E+06	7,64E+07	1,89E+08	2,65E+08
Cs-135	7,82E+08	6,03E+06	1,17E+07	2,70E+08	8,96E+07	9,48E+08	2,21E+09	3,16E+09
Cs-137	1,79E+14	2,80E+12	3,37E+12	1,11E+14	2,11E+13	2,12E+14	5,62E+14	7,74E+14
Ba-133	0,00E+00	9,87E+10	2,99E+09	3,74E+06	2,80E+10	0,00E+00	1,30E+11	1,30E+11
Sm-151	9,41E+11	9,72E+09	2,72E+10	3,57E+11	2,15E+11	1,10E+12	3,20E+12	4,30E+12
Eu-152	1,11E+10	6,39E+07	1,32E+08	2,97E+09	1,02E+09	1,02E+10	3,38E+10	4,41E+10
Eu-154	1,01E+13	4,07E+10	3,95E+10	3,28E+12	2,60E+11	1,14E+13	1,90E+13	3,05E+13
Ho-166m	4,05E+05	1,55E+03	1,35E+03	1,36E+05	8,29E+03	5,23E+05	7,03E+05	1,23E+06
Pb-210	4,63E+08	3,35E+08	4,72E+08	3,89E+08	8,59E+08	0,00E+00	2,50E+10	2,50E+10
Ra-226	8,13E+09	8,12E+08	4,45E+09	3,11E+09	5,13E+09	4,96E+01	2,02E+11	2,02E+11
Ra-228	4,76E+01	1,31E+00	0,00E+00	1,36E+02	9,04E+07	1,30E+01	2,15E+10	2,15E+10
Th-232	6,23E+01	1,62E+11	1,27E+10	3,93E+10	4,20E+10	1,18E+07	3,40E+11	3,40E+11
Pa-231	3,87E+04	1,18E+03	1,23E+08	3,56E+04	2,60E+03	5,82E+04	8,36E+08	8,36E+08
U-232	3,83E+07	4,31E+06	2,48E+07	7,76E+07	1,86E+06	3,21E+07	4,66E+08	4,98E+08
U-233	3,09E+05	1,09E+06	1,02E+05	3,86E+05	1,40E+09	2,36E+09	2,13E+09	4,49E+09
U-234	2,50E+09	3,54E+11	1,33E+10	1,31E+10	1,48E+10	3,00E+09	1,29E+12	1,29E+12
U-235	5,13E+07	1,54E+10	6,94E+08	4,51E+08	6,39E+08	1,34E+08	5,11E+10	5,12E+10
U-236	5,45E+08	7,34E+07	3,31E+08	1,18E+09	9,94E+07	4,86E+08	8,17E+09	8,65E+09
U-238	1,20E+09	3,47E+11	1,21E+10	8,88E+09	1,42E+10	1,32E+09	1,24E+12	1,25E+12
Np-237	4,44E+08	7,26E+06	5,52E+06	2,30E+08	8,08E+07	6,26E+08	1,15E+09	1,77E+09
Pu-238	1,33E+13	6,42E+11	1,68E+10	4,92E+12	4,62E+11	1,07E+12	2,80E+13	2,91E+13
Pu-239	3,55E+12	3,89E+11	1,63E+10	2,22E+12	1,35E+12	7,54E+11	1,43E+13	1,50E+13
Pu-240	4,87E+12	2,70E+11	6,43E+09	2,25E+12	1,41E+12	7,32E+11	1,64E+13	1,71E+13
Pu-241	8,38E+14	4,04E+13	1,04E+12	3,35E+14	1,18E+14	9,23E+13	2,28E+15	2,38E+15
Pu-242	1,24E+10	6,42E+08	1,65E+07	4,72E+09	1,05E+09	1,21E+09	3,04E+10	3,16E+10
Pu-244	1,83E+03	9,06E+01	0,00E+00	6,09E+02	1,30E+01	5,93E+01	3,32E+03	3,38E+03
Am-241	3,82E+12	3,28E+11	2,45E+10	2,61E+12	1,36E+12	2,80E+12	1,77E+13	2,05E+13
Am-242m	6,74E+09	3,65E+07	3,96E+07	2,09E+09	2,80E+08	8,25E+09	1,66E+10	2,49E+10
Am-243	1,68E+10	6,68E+07	4,31E+07	5,59E+09	2,31E+08	2,30E+10	2,95E+10	5,26E+10
Cm-243	1,34E+10	4,68E+07	1,79E+07	4,51E+09	6,03E+07	1,67E+10	2,16E+10	3,83E+10
Cm-244	9,41E+11	3,90E+09	1,35E+09	3,30E+11	3,49E+09	1,42E+12	1,49E+12	2,91E+12
Cm-245	1,00E+08	3,42E+05	9,94E+04	3,39E+07	1,54E+05	1,23E+08	1,46E+08	2,69E+08
Cm-246	1,33E+08	3,70E+05	9,53E+04	4,34E+07	3,08E+04	1,39E+08	1,85E+08	3,25E+08
Cf-249	1,72E+03	0,00E+00	0,00E+00	4,95E+02	0,00E+00	1,18E+03	2,25E+03	3,43E+03
α	2,65E+13	2,51E+12	1,09E+11	1,24E+13	4,66E+12	6,82E+12	8,11E+13	8,79E+13
β/γ	1,18E+15	4,74E+13	8,13E+12	6,01E+14	1,61E+14	3,31E+15	3,56E+15	6,87E+15

Tabelle 3.2 enthält die nach Einlagerungskammern geordnete Aufstellung der Einzelnuclidaktivitäten sowie die Aktivitätssummen der in der Tabelle aufgeführten α - und β/γ -Strahler in der Schachanlage Asse, bezogen auf den 01.01.1980. Die Summe der Einzelnuclidaktivitäten der LAW-Kammern und das Gesamtaktivitätsinventar der Schachanlage Asse sind ebenfalls aufgeführt.

Bei einigen Abfallchargen konnten die deklarierten Aktivitäten mangels ausreichender Informationen zur Nuclidzusammensetzung keinen eindeutigen Radionukliden zugeordnet werden. Tabelle 3.3 enthält eine nach Ablieferern geordnete Aufstellung der nicht ausgewerteten Aktivitäten. Bei diesen Abfällen handelt es sich überwiegend um solche, für die nur nicht näher spezifizierte Spaltprodukte bzw. nur " β/γ -Strahler" als Nuklide angegeben waren. Da die Aktivität der Spalt- und Aktivierungsprodukte durch die auswertbaren Abfälle des FZK, der KKW's und der mit KKW-Abfällen vergleichbaren Abfälle ausreichend abgedeckt wird, ist der Beitrag der nicht auswertbaren Abfälle zum nuklidspezifischen Aktivitätsinventar der Schachanlage Asse vernachlässigbar. Anhand der Herkunft der Abfälle und den von den Ablieferern angegebenen Abfallbezeichnungen liegen keine Gründe vor, dass es sich hierbei um Nuclidaktivitäten handelt, die für die Langzeitsicherheit der Schachanlage Asse von Bedeutung sein könnten. Die Aktivitäten der in der MAW-Kammer (Kammer 8a/511m) eingelagerten Abfälle konnten vollständig ausgewertet werden.

Tabelle 3.3: Aktivitäten, die aufgrund mangelnder Informationen zur Nuclidzusammensetzung nicht ausgewertet werden konnten

Ablieferer	Aktivität in Ci
FZK	1,07E+02
HMI	6,56E+01
Transnuklear	4,60E+01
GKSS	2,74E+01
Siemens	1,36E+01
GSF Neuherberg	1,24E+01
Hoechst	1,02E+01
Nukem	1,01E+01
FRM	5,25E+00
FZJ	3,62E+00
Mess- und Prüfstelle für die Gewerbeaufsichtsverwaltung des Landes Hessen	2,96E+00
GSF, Hannover	1,99E+00
RBU	1,80E-02
Gesamt	3,07E+02

Aktivitätsbeiträge der einzelnen Ablieferer

Die Berechnung des Aktivitätsinventars der Abfälle des FZK erfolgte nach den in Kapitel 2.3.2.2 dargelegten Methoden. Die eingelagerten Abfälle des FZK tragen maßgeblich zum Aktivitätsinventar der Schachanlage Asse bei. 96 % der Gesamt- α - und 93 % der β/γ -Aktivität in der Schachanlage Asse stammen aus dem FZK. In den LAW-Kammern liegen die entsprechenden Aktivitätsanteile bei 96 % bzw. 87 %, in der MAW-Kammer bei 100 % bzw. 99 %. Zu erwähnen sind die geringen bis vernachlässigbaren Aktivitätsbeiträge zu den Inventaren von C-14, Th-232, Uran und Ra-226. Praktisch die gesamte Transuranaktivität in allen Einlagerungskammern stammt aus dem FZK. Vom FZK wurden 1.265 Stück 200-l-Fässer in der MAW-Kammer eingelagert.

Die Vorgehensweise bei der Bestimmung des Aktivitätsgehaltes der KKW-Abfälle wurde in Kapitel 2.3.2.3 erörtert. Bei den Abfällen einiger älterer Anlagen ist aufgrund von Brennelementschäden mit höheren Uran- und Plutoniumaktivitäten und höheren Aktivitätsverhältnissen von Spalt- zu Aktivierungsprodukten zu rechnen. Die dadurch geringfügig höheren Kernbrennstoff- und Spaltproduktaktivitäten dieser Abfälle werden jedoch durch die Aktivitätsbestimmung bei den Abfällen anderer Ablieferer ausreichend abgedeckt.

Die Berechnung des Radionuklidinventars der anderen Ablieferer erfolgte mit den in Kapitel 2.3.2.4 beschriebenen Annahmen und Vorgehensweisen. Die Abfälle dieser Ablieferer sind nur hinsichtlich des Uran-, Ra-226-, Th-232-, C-14- und H-3-Inventars relevant.

AEG und KWU haben überwiegend Abfälle abgegeben, die offenbar kerntechnischen Ursprungs sind. Für einen Teil der Gebinde war explizit das KWW, das von der AEG errichtet wurde, als Abfallverursacher angegeben. Die Abfälle der AEG und KWU, außer denen, die als Herkunft das KWW angegeben hatten, wurden daher wie die von KKW's unbekanntem Reaktortyps behandelt.

Von der Fa. Amersham-Bucher wurden neben LAW-Gebinden auch 7 Stück 200-l-Fässer mit MAW abgeliefert. Dominierende Nuklide sind Co-60, Cs-137 und Sr-90. Hervorzuheben ist der Beitrag zum Ra-226-Inventar. Die aus den deklarierten Aktivitäten errechnete Ra-226-Masse beträgt 1,161 g, die konservativ abgeschätzte 2,5 g.

Die rund 2 Ci der Bundeswehr konnten aufgrund stets vorhandener Nuklidangaben durch die Routinen vollständig ausgewertet werden. Die Bundeswehr trägt mit ca. 250 mg Ra-226 zu ca. 4,5 % zum Ra-226-Inventar der Schachanlage Asse bei. Es handelt sich dabei um Gebinde mit Leuchtzifferblättern, Kompassnadeln und ähnlichen Abfällen.

Die Firma Conradt hat einige Gebinde mit Thoriumfluorid (ThF_4) abgeliefert. Der sich aus der stöchiometrischen Zusammensetzung errechnende Th-232-Gehalt wurde in das Aktivitätsinventar aufgenommen.

Vom FRM wurden in einer Charge 15 g U-235 deklariert, die bei Unterstellung natürlicher Isotopenverhältnisse konservativ in ca. 2 kg U-nat umgerechnet wurden. Hinsichtlich des Gesamturaninventars ist diese Menge sehr klein. Für eine weitere Abfallcharge wurden 0,03 Ci Ra-226 deklariert und entsprechend berücksichtigt.

Die GNS hat Abfälle der Kernkraftwerke KKB, KKI, KKS, KKV, BBG und KWW abgeliefert. Alle Abfälle konnten einem bestimmten Kernkraftwerk und damit Reaktortypen zugeordnet und entsprechend ausgewertet werden.

Die von der GNT abgelieferten Gebinde enthielten KKW-Abfälle, die jedoch keinem bestimmten KKW oder Reaktortyp zugeordnet werden konnten und entsprechend mit den URT-Vektoren ausgewertet wurden.

Die von der GKSS abgegebenen Abfälle stammten überwiegend aus der Zentralabteilung Forschungsreaktoren. 21 Stück 200-l-Fässer enthielten MAW. Rund 27 Ci konnten keinen Radionukliden zugeordnet werden und wurden daher nicht ausgewertet. Die übrigen Aktivitäten stammten von der dortigen Landessammelstelle und wurden über die Routinen ausgewertet.

Die ehemalige Gesellschaft für Strahlenforschung in Neuherberg, heute GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, hat Abfälle vom Institut für Strahlenschutz und der angegliederten Landessammelstelle abgeliefert. Die deklarierte Aktivität stammte in der Hauptsache von einer Co-60-Bestrahlungsanlage (3.600 Ci). Einige Abfälle mit Radiumpräparaten, Hahn'schen Massen und Radiumnadeln tragen mit rund 1,4 g wesentlich zum Ra-226-Inventar der Schachanlage Asse bei.

Abgesehen von einigen mCi Ra-226 und ca. 10 kg Uran konnten die deklarierten Aktivitäten des zur GSF gehörigen Instituts für Strahlenbotanik in Hannover mangels genauerer Nuklidangaben nicht ausgewertet werden.

Das Aktivitätsinventar der Betriebsabfälle der Schachanlage Asse stammt aus Dekontaminationsmaßnahmen und wird durch das Aktivitätsinventar der Gebinde abgedeckt, die die Kontaminationen verursacht hatten.

Die Abfälle des HMI sind für das Th-232-Inventar von herausragender Bedeutung (ca. 51 Mg). Es wurden Gebinde mit thoriumhaltigen Abfällen wurden abgeliefert, bei denen ausschließlich oder teilweise Glühstrümpfe als Abfallart aufgeführt waren. Die Vorgehensweise bei der Auswertung dieser Abfallart wurde in Kapitel 2.3.2.4 beschrieben und ist als abdeckend zu betrachten.

Nur etwa 25 % der ca. 13 Ci in den von der Fa. Hoechst AG abgegebenen Abfällen konnten ausgewertet werden, da meist weder Nuklid- noch Herkunftsangaben vorlagen. Die übrigen Abfälle enthielten u. a. eine Cs-137- und eine Co-60-Quelle und wurden durch die beschriebenen Routinen ausgewertet.

Bei den Abfällen des Forschungszentrums Jülich (FZJ), früher Kernforschungsanlage Jülich (KFA), handelt es sich meist um nicht näher spezifizierte Mischungen aus Kernbrennstoffen, Spalt- und Aktivierungsprodukten sowie Radionukliden, die zu Markierungszwecken eingesetzt wurden (C-14, H-3). Die Angaben zur Nuklidzusammensetzung waren häufig nicht schlüssig. Aufgrund der Häufigkeit und Zusammensetzung der deklarierten Nuklide konnte meist davon ausgegangen werden, dass anstelle von Einzelnukliden umfangreichere Nuklidgemische aus Spaltreaktoren vorlagen. Diese Abfälle wurden daher wie Abfälle aus Kernkraftwerken behandelt. Nur in Fällen, bei denen aufgrund der Deklaration einzelner Leitnuklide auf den Begleitlisten das tatsächliche Vorliegen von diesen Nukliden (beispielsweise C-14 oder H-3) anzunehmen war, wurden die Chargenaktivitäten auf die deklarierten Nuklide umgelegt. Der wesentliche Aktivitätsanteil (1.030 Ci von insgesamt 3.320 Ci) in den Abfällen des FZJ stammt von 8 Stück 200-l-Fässern mit MAW in Form von Brennelementen (z. B. AVR-Brennelemente). Die bei diesen Gebinden angegebenen detaillierten Kernbrennstoffmassen wurden zur Auswertung herangezogen. Die Aktivitäten der Spaltprodukte wurden durch Anwendung des Nuklidvektors für KKW-Abfälle unbekanntem Reaktortyps berechnet.

Die von der KRT abgegebenen Abfallgebände enthalten teils an-, teils abgereichertes Uran. Die Einlagerungsdokumente ermöglichen jedoch keine genaue Zuordnung, welche Masse Uran welchen Anreicherungsgrades eingelagert wurde. Auf Basis der Einlagerungsdokumente wurde bei einem mittleren Anreicherungsgrad von 0,3 % aus den deklarierten U-235-Massen die Aktivitäten von U-234 und U-238 bestimmt. Demnach wurden insgesamt von der KRT ca. 900 kg Uran abgegeben. Die aus dieser Schätzung resultierende Unsicherheit ist in Relation zum Gesamtinventar wenig bedeutsam.

In den Abfällen der Mess- und Prüfstelle für die Gewerbeaufsichtsverwaltung des Landes Hessen finden sich einige Uran-, Thorium- und Ra-226-haltige Abfälle, die mit detaillierten Aktivitätsangaben versehen waren und mit etwa 100 kg Uran, 100 mg Ra-226 sowie 115 kg Th-232 zum LAW-Inventar beitragen.

Die Firma Nukem hat Abfälle aus eigener Produktion sowie der KWU und des VAK abgeliefert, die wie die direkt von diesen Ablieferern abgegebenen Abfälle behandelt wurden. Die produktionseigenen Abfälle der Nukem stellen mit ca. 60 Mg den größten Beitrag zum Uraninventar der Schachanlage Asse. Weiterhin trägt die Fa. Nukem mit 5,6 Mg zum Th-232-Inventar bei. Die Auswertung erfolgte wie in Kapitel 2.3.2.4 beschrieben.

Die Fa. RBU hat ausschließlich uranhaltige Abfälle abgegeben, wobei der größte Teil der rund 1.500 Gebinde kontaminierten Abfall enthält, für den meist nur Aktivitätsobergrenzen angegeben waren. Sie wurden wie in Kapitel 2.3.2.4 beschrieben ausgewertet. Eine Charge enthielt mit 45 Gebinden zu je 50,5 kg größere Uranmengen.

Die Abfälle der Fa. Siemens enthielten nur geringe Aktivitäten (13,6 Ci) und konnten mangels näherer Informationen zur Nuklidzusammensetzung nicht ausgewertet werden.

Die Steag Kernenergie GmbH hat im wesentlichen Abfälle aus KKWs (KKS, BBG, KRB, GKN) sowie vergleichbare Abfälle ohne konkrete Herkunft abgegeben. Bei letztgenannten sind die Ionenaustauscher zu erwähnen, die mit einem Aktivitätsgehalt von 2.660 Ci den bei weitem größten Anteil der KKW-Abfälle mit unbekanntem Reaktortyp darstellen (vergleiche hierzu Abbildung 2.8).

Die Fa. Transnuklear hat Abfälle der Kernkraftwerke BBG, KKB, KKN, KRB, KWW und des VAK abgegeben, die entsprechend bearbeitet wurden. Hinzu kommen produktionseigene Abfälle, Abfälle des FRF, der MPI für biophysikalische Chemie in Göttingen, der Technischen Universität München, die 360 mg Plutonium enthielten, sowie der KRT. Diese Abfälle wurden überwiegend durch Routinen ausgewertet. Die Abfälle der Fa. Transnuklear tragen wesentlich zum Uran- und Th-232-Inventar der Schachanlage Asse bei (s. Tabelle 3.1).

Vom VAK wurden insgesamt nur wenige Ci in die Schachanlage Asse eingelagert. Die Abfälle wurden aus Gründen der Konservativität wie KKW-Abfälle unbekanntem Reaktortyps behandelt.

4 Unsicherheitsbetrachtung zum nuklidspezifischen Aktivitätsinventar

4.1 Allgemeines

Das in diesem Bericht vorgestellte nuklidspezifische Aktivitätsinventar der Schachanlage Asse ist mit zufälligen und systematischen Unsicherheiten behaftet. Fehler der Eingangsdaten wurden korrigiert, soweit sie als solche erkannt wurden und dies möglich war. Über die Eingangsdaten hinaus sind auch die der Aktivitätsinventarberechnung zugrunde gelegten Annahmen und Abschätzungen mit mehr oder weniger ausgeprägten methodischen Unsicherheiten behaftet, die hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das nuklidspezifische Aktivitätsinventar zu quantifizieren waren. Daher wurden die diesbezüglich wichtigen Parameter vom ISS frühzeitig ermittelt und durch verstärkte Recherchen, Überlegungen oder Berechnungen zusätzlich abgesichert.

In den folgenden Kapiteln werden zunächst die Unsicherheiten der in den Einlagerungsdokumenten und der Datenbestand der vorhandenen Datenbank (Kapitel 4.2) sowie der angewendeten Auswertemethodik (Kapitel 4.3) diskutiert. Die Parameter, die einen merklichen Einfluss auf die Unsicherheit des Aktivitätsinventars hatten, wurden zur Bestimmung der Schwankungsbreite des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars pro Nuklid und Einlagerungskammer herangezogen (Kapitel 4.4).

4.2 Unsicherheiten der Eingangsdaten

Die Unsicherheiten der von den Ablieferern deklarierten Aktivitäts- und Masseangaben spielen bei einer realistischen Abschätzung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachanlage Asse eine tragende Rolle. Abgesicherte Schwankungsbreiten der Aktivitätsangaben sind angesichts der individuellen Vorgehensweise bei deren Deklaration aus heutiger Sicht nicht ermittelbar. Generell kann aber davon ausgegangen werden, dass die Angaben der Einlagerungsdokumente eher abdeckend sind. So sind Aktivitätsangaben häufig mit der Bedingung "<" versehen und somit als Maximalwerte zu verstehen. Mit "<" versehene Aktivitätsangaben wurden grundsätzlich als "=" berücksichtigt und somit an der oberen Grenze ausgewertet.

Die vom FZK früher deklarierten Gesamtaktivitäten der eingelagerten Abfälle wurden in der Regel anhand der Dosisleistungen der Abfallgebinde geschätzt [L3]. Der Zusammenhang zwischen Dosisleistung und Aktivitätsgehalt ist von verschiedenen Einflussgrößen abhängig und daher, insbesondere unter Betrachtung der in den 60er und 70er Jahren verfügbaren Me-

thoden, praktisch nur grob gegeben. Eine Schwankungsbreite der Aktivitätsangaben konnte vom FZK daher erwartungsgemäß nicht angegeben werden. Rückwirkende Betrachtungen sprechen jedoch für eine generelle Überdeklaration der Aktivitäten. Auch Nachmessungen der GSF an eigenen Gebinden bestätigen diese Tendenz.

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass die Aktivitätsangaben der Abfallablieferer in den Einlagerungsdokumenten insgesamt abdeckend sind.

Hinsichtlich des Plutoniuminventars sind die Eingangsdaten des FZK von entscheidender Bedeutung. Mit Schreiben [L10] wurden die Unsicherheiten der Kernbrennstoffgehalte in den einzelnen Abfallströmen vom FZK wie in Tabelle 4.1 angegeben abgeschätzt. Diese Unsicherheiten wurden zur Abschätzung der Schwankungsbreite des Plutonium- und Urangesamtinventars herangezogen.

Tabelle 4.1: Unsicherheiten der Kernbrennstoffmassen in den Abfallströmen der WAK [L10]

Abfallstrom	Unsicherheit in %
Hülsen, Feedklärschlämme	+ 100 / - 50
sonstige feste Abfälle	± 50
flüssig Abfälle	± 25

Eine weitere Unsicherheit bei den Abfällen des FZK resultiert aus der damals üblichen Auffassung, die Aktivität von Pu-241, dessen niederenergetische β -Strahlung radiologisch unbedeutend ist, könne bei Aktivitätsdeklarationen vernachlässigt werden. Wenn überhaupt, dann wurde statt dessen die Aktivität des Tochternuklides Am-241 angesetzt. Die deklarierten Aktivitätsangaben auf den Begleitlisten hätten theoretisch die Aktivitäten der Kernbrennstoffe einschließen müssen. Wäre dies tatsächlich stets der Fall gewesen, so überstiege in vielen Fällen die Aktivität der Kernbrennstoffe die Gesamtaktivität der Charge. In diesen Fällen bliebe folglich keine Aktivität, die auf die Spalt- und Aktivierungsprodukte umgelegt werden kann. Daraus würde für die Abfälle des FZK eine um ca. 50 % niedrigere Gesamtaktivität resultieren. Selbst wenn zuvor die Masse des in der Charge enthaltenen Pu-241 nicht in Pu-241-Aktivität, sondern in die der gleichen Masse Am-241 umgerechnet würde, wäre die Aktivität der Abfälle des FZK um rund 10 % niedriger, als wenn die Gesamtaktivität der Chargen ohne Berücksichtigung der Kernbrennstoffaktivitäten auf die Spalt- und Aktivierungsprodukte umgelegt würde. Daher wurden die Gesamtaktivitäten der Abfälle vor der Umlegung auf die Einzelnuclide nicht um die Aktivitäten der Kernbrennstoffe reduziert.

4.3 Unsicherheiten der Auswertemethodik

Bei der Bestimmung des Aktivitätsinventars mussten einige Berechnungsparameter abgeschätzt werden. Diese unterliegen selbstverständlich gewissen Unsicherheiten. Einige der Parameter betreffen nur die Aktivitätsbestimmung der Abfälle des FZK. Tabelle 4.2 enthält eine Auflistung der Parameter, für die aufgrund von Recherchen oder Überlegungen bestimmte Werte festgesetzt wurden und deren Einfluss auf das Radionuklidinventar durch Variation in sinnvollen Bereichen untersucht wurde.

Tabelle 4.2: Berechnungsparameter, die zur Abschätzung der Unsicherheit des nuklid-spezifischen Aktivitätsinventars variiert wurden

Parameter	Ablieferer	Schätzwert	Variationsbereich
Lagerzeit FZK-Abfälle bis zur Ablieferung an die Schachanlage Asse	FZK	30 Tage	0 Tage bis 120 Tage
Aktivitätsanteil der Aktivierungsprodukte im MAW-Schrott des FZK	FZK	90 %	80 % bis 100 %
Uran/Th-232-Kontaminationsmasse	alle	50 g/Gebinde	0 g/Gebinde bis 500 g/Gebinde
Uran/Th-232-Maximalmasse	alle	50 kg/Gebinde	10 kg/Gebinde bis 1.000 kg/Gebinde
Einzelnuclide konservativ	alle	1:n*	1:n und 1:1*

1:n bedeutet, dass die Gesamtaktivität einer Charge auf alle n deklarierten Nuklide gleichmäßig verteilt, jedem Nuklid also die Aktivität A_{Charge}/n zugeordnet wurde.

Die vom FZK genannten Nuklidvektoren der Wiederaufarbeitungskampagnen beziehen sich auf das Nuklidinventar der Brennelemente vor deren chemischer Aufarbeitung. Im Laufe des Wiederaufarbeitungsprozesses werden die ursprünglichen Nuklidverhältnisse in den verschiedenen Stoffströmen aufgrund der unterschiedlichen chemischen Eigenschaften der Radionuklide verändert. Dieser Effekt ist bei den überwiegend aktivierten MAW-Abfallarten "Schrott" und "Hülsen" besonders stark ausgeprägt. In Abstimmung mit dem FZK wurde der Anteil der Aktivierungsprodukte $X_{Akt,AT}$ im MAW-Schrott auf 90 %, der in den Hülsen auf 100 % festgelegt. Da die Bezeichnung MAW im FZK weitläufiger war als beim FB Asse, wurden Teile der FZK-MAW-Abfälle in VBA verpackt und in der Schachanlage Asse in LAW-Kammern eingelagert. Die oben genannte Abschätzung von $X_{Akt,AT}$ hat daher auf das Aktivitätsinventar der MAW- und der LAW-Kammern Einfluss. Zur Abschätzung des Einflusses wurde $X_{Akt,AT}$ zwischen 80 % und 100 % variiert und das zugehörige nuklidspezifische Aktivitätsinventar je

Einlagerungskammer berechnet. Die Reduzierung von $X_{Akt,AT}$ führt erwartungsgemäß zu einem Anstieg der Spaltproduktaktivitäten. Diese Erhöhung ist in der MAW-Kammer wesentlich größer, da dort deutlich mehr FZK-MAW eingelagert wurden als in den LAW-Kammern. Das Aktivitätsinventar der LAW-Kammern ist von $X_{Akt,AT}$ innerhalb des untersuchten Variationsbereiches praktisch unabhängig. Der Einfluss des entsprechenden Parameters bei Hülsenabfällen ist vernachlässigbar, da deutlich weniger Abfälle dieser Art eingelagert wurden.

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor bei der Aktivitätsbestimmung der Abfälle des FZK ist die Zuordnung der eingelagerten Abfälle zu bestimmten Wiederaufarbeitungskampagnen. Nach Angaben des FZK wurden die Abfälle "produktionsnah" abgeliefert, genaue Angaben zur Lagerzeit konnten jedoch nicht gemacht werden. Daher wurde bei der Inventarberechnung für alle Abfallgebände des FZK eine mittlere Lagerzeit von 30 Tagen angesetzt. Wurde die Begleitliste einer Charge also beispielsweise am 5. Mai ausgefertigt, so wurde die Charge der Wiederaufarbeitungskampagne zugeordnet, die am 5. April durchgeführt wurde. Insgesamt hat die Variation der Lagerzeit nur bei wenigen Nukliden deutliche Auswirkungen auf deren Aktivitätsinventar. Je stärker sich die Nuklidvektoren eines Nuklides in den verschiedenen Kampagnen unterscheiden, desto größer ist folglich auch der Effekt der Variation der Lagerzeit. Das Aktivitätsinventar von Uran und Plutonium wird im wesentlichen nur hinsichtlich der Isotopenzusammensetzung, jedoch nicht bezüglich der Gesamtmasse beeinflusst.

Wie in Kapitel 2.3.2.4 bereits beschrieben, wurde bei einer Reihe von Gebinden mit langlebigen Nukliden (Uran und Th-232) anhand der Abfallart entschieden, ob anstelle der deklarierten Aktivitäten nicht realistischerweise geschätzte Kontaminationsmassen verwendet werden sollten. Diese wurde mit 50 g Uran bzw. Th-232 pro Gebinde angesetzt. Entsprechende Variationsrechnungen zeigten, dass das Aktivitätsinventar von Th-232 von der festgelegten Schwankungsbreite der Kontaminationsmasse praktisch unabhängig ist. Die Gesamturanmasse in der Schachanlage Asse steigt selbst bei einer geschätzten Kontaminationsmasse von 500 g/Gebinde nur um ca. 1 %.

Der Einfluss der Maximalmassen von Uran und Th-232 wurde ebenfalls untersucht. Da nur in seltenen Fällen eine Maximalmasse geschätzt werden musste, hatte die Variation der maximalen Uranmasse keinen Einfluss auf das Gesamtinventar. Gleiches gilt für Th-232.

Wie in Kapitel 2.2 bereits beschrieben, sind häufig für eine Charge mehrere Nuklide ohne konkrete Angaben zu deren Aktivitätsanteilen deklariert worden. Bei der Bestimmung des Aktivitätsinventars wurde, soweit keine zusätzlichen Informationen zur Berechnung herangezogen werden konnten, die für eine Charge deklarierte Gesamtaktivität auf alle angegebenen Nuklide zu gleichen Teilen umgelegt. Vergleichsweise wurde das Inventar mit einer 1:1-Umlegung berechnet, d. h. die Gesamtaktivität wurde jedem der deklarierten Nuklide zu

100 % zugeschlagen. Hinsichtlich der Spalt- und Aktivierungsprodukte, des Plutoniums, Urans und Thoriums zeigte diese extrem konservative Vorgehensweise praktisch keine Auswirkung auf das Aktivitätsinventar, da der größte Anteil des Inventars nach anderen, weit spezifischeren Methoden bestimmt wurde. Auch bezüglich Ra-226 hat die Art der Aktivitätsumlegung keinen Einfluss, da zu Radium entweder detaillierte Angaben vorlagen oder schon im Vorfeld unter Berücksichtigung der Einlagerungsbedingungen abdeckende Werte für Ra-226 festgelegt worden waren (s. Kapitel 6.6 in [L1] sowie Kapitel 2.2). Lediglich bei H-3 und C-14 hatte die Art der Aktivitätsumlegung deutliche Auswirkungen auf das nuklidspezifische Aktivitätsinventar.

Zusammenfassend wurden die in Tabelle 4.3 aufgeführten Berechnungsparameter hinsichtlich der Unsicherheit des Aktivitätsinventars mindestens eines Radionuklids als relevant erkannt.

Tabelle 4.3: Berechnungsparameter, deren Variationen nennenswerten Einfluss auf die aufgeführten Nuklide in der MAW-Kammer und/oder in den LAW-Kammern haben

Parameter	Kammer	Nuklide
Aktivitätsanteil der Aktivierungsprodukte im MAW-Schrott des FZK	MAW	Spaltprodukte, Np-237, Transplutoniumelemente
Lagerzeit der FZK-Abfälle bis zur Ablieferung an die Schachanlage Asse	LAW	Eu-154, Ho-166m, U-232, Np-237, Pu-244, Transplutoniumelemente
	MAW	Ra-226, Pa-231, U-234, U-235
Einzelnuklide konservativ	LAW	H-3, C-14
Uran-Kontaminationsmasse	LAW	Uran-Isotope

4.4 Schwankungsbreite des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars

Zur Abschätzung der Schwankungsbreite des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars wurden die folgenden Parameter in den in den Tabellen 4.4 und 4.5 aufgeführten Grenzen variiert:

- Uran- und Plutoniummassen in den Abfällen des FZK (s. Tabelle 4.1)
- Aktivitätsanteil der Aktivierungsprodukte im MAW-Schrott des FZK (s. Tabelle 4.3)
- Lagerzeit der FZK-Abfälle bis zur Ablieferung an die Schachanlage Asse (s. Tabelle 4.3)
- Umlegungsart der Gesamtaktivitäten auf die deklarierten Radionuklide „Einzelnuklide konservativ“ (s. Tabelle 4.3)
- Uranmasse in kontaminierten Abfällen (s. Tabelle 4.3)

Dabei wurde das nuklidspezifische Aktivitätsinventar für jede Einlagerungskammer mit allen Kombinationsmöglichkeiten der o. g. Parameter berechnet. Insgesamt wurden $2^5 = 32$ Berechnungen durchgeführt. Die größten positiven und negativen Abweichungen der Nuklidaktivitäten einer Einlagerungskammer wurden als maximale Schwankungsbreite bestimmt.

Bezogen auf einzelne Einlagerungskammern ergab sich in Einzelfällen eine sehr hohe positive Unsicherheit, wenn Nuklide, die nur selten deklariert worden waren, zusammen mit einer hohen Zahl anderer Nuklide in einer Charge deklariert worden waren. Bei einer 1:1-Umlegung der Chargenaktivität stiegen die Aktivitäten dieser Nuklide stark an.

Durch Variation der Unsicherheiten der Kernbrennstoffmassen in den Abfallströmen der WAK-Abfälle ergeben sich für die Gesamtplutoniummasse Schwankungsbreiten, die in den LAW-Kammern bei ca. $\pm 30\%$, in der MAW-Kammer bei ca. $\pm 40\%$ liegen.

Exemplar für BMBF und BMD

5 Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar für den Nachweis der Langzeitsicherheit

Auf Basis des in Kapitel 3 vorgestellten nuklidspezifischen Aktivitätsinventars wurde ein Nuklidinventar ermittelt, das als Grundlage für die zum Nachweis der Langzeitsicherheit erforderlichen Ausbreitungsrechnungen herangezogen werden kann. Dazu wurde das kammer-spezifische Nuklidinventar (Tabelle 3.2) um die größten positiven Abweichungen der im Kapitel 4.4 ermittelten Schwankungsbreiten erweitert. In Tabelle 5.1 ist das so abgeschätzte Aktivitätsinventar zum Stichtag 01.01.1980 aufgeführt. In Tabelle 5.2 ist das hieraus errechnete aktuelle Aktivitätsinventar zum Zeitpunkt 01.01.2003 aufgeführt.

Aus Tabelle 5.2 lassen sich die Massen für Plutonium, Uran, Radium-226 und Th-232 errechnen. Zum Zeitpunkt 01.01.2003 betragen die gerundeten Massen 11,6 kg bei Plutonium, 102 Mg bei Uran, 5,461g bei Ra-226 und 87 Mg bei Th-232.

Die Ausbreitungsrechnungen für den Nachweis der Langzeitsicherheit erfordern die Erstellung eines Quellterms. Aus der o. g. Tabelle können die langzeitsicherheitsrelevanten Nuklide entnommen und auf den relevanten Stichtag umgerechnet werden. Bei dieser Umrechnung werden sowohl die Abnahme der Einzelnuclidaktivitäten durch den radioaktiven Zerfall als auch der Aktivitätsaufbau von Nukliden aus Vorläufernukliden (Tabelle 2.7) berücksichtigt.

Tabelle 5.1: *Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar für den Nachweis der Langzeitsicherheit der Schachanlage Asse (in Bq, bezogen auf den 01.01.1980)*

KaNr	1/750m	2/750m	2/750mNA2	4/750m	5/750m	6/750m	7/725m
H-3	1,28E+11	1,10E+10	3,09E+11	7,09E+09	7,30E+10	7,57E+11	7,40E+10
Be-10	3,43E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,28E+01	5,70E+02	1,16E+01
C-14	4,52E+10	6,72E+10	6,52E+11	1,49E+09	2,71E+11	4,08E+11	7,62E+10
Cl-36	1,21E+08	1,61E+08	9,64E+08	2,38E+06	7,72E+08	1,03E+09	8,21E+07
Ca-41	5,47E+04	9,29E+04	1,83E+05	1,17E+03	3,90E+05	5,42E+05	1,92E+04
Co-60	3,12E+12	7,80E+12	8,66E+12	1,58E+10	1,25E+13	1,58E+14	1,99E+12
Ni-59	3,47E+08	1,03E+08	5,47E+07	0,00E+00	3,63E+09	5,85E+10	2,09E+08
Ni-63	1,25E+12	2,35E+12	4,86E+12	3,25E+10	1,21E+13	2,38E+13	5,34E+11
Se-79	2,50E+07	2,03E+07	2,53E+07	1,02E+05	1,11E+08	8,88E+08	1,60E+07
Rb-87	1,42E+03	1,01E+03	9,11E+02	2,84E+00	4,97E+03	4,28E+04	7,05E+02
Sr-90	7,69E+12	1,80E+12	1,66E+12	1,13E+09	7,62E+12	1,21E+14	2,31E+12
Zr-93	1,28E+08	4,56E+07	1,51E+07	0,00E+00	1,93E+08	3,80E+09	6,52E+07
Nb-94	1,27E+09	1,96E+09	3,81E+09	2,88E+07	8,51E+09	1,23E+10	4,47E+08
Mo-93	1,41E+06	4,20E+05	2,23E+05	0,00E+00	2,38E+06	4,76E+07	8,51E+05
Tc-99	1,53E+09	3,08E+08	1,66E+10	0,00E+00	1,50E+09	2,93E+10	1,94E+09
Pd-107	6,29E+06	1,98E+06	7,78E+05	0,00E+00	8,89E+06	2,24E+08	3,12E+06
Ag-108m	3,00E+08	5,96E+08	1,21E+09	7,18E+06	2,82E+09	3,74E+09	1,18E+08
Cd-113m	1,89E+09	2,03E+09	5,13E+09	2,94E+07	1,43E+10	5,93E+10	1,38E+09
Sn-126	4,37E+07	2,88E+07	3,95E+07	2,44E+05	1,25E+08	1,23E+09	2,08E+07
Sb-125	5,02E+10	4,62E+10	2,21E+11	2,37E+08	4,02E+11	6,68E+12	6,32E+10
I-129	2,41E+06	1,82E+06	2,05E+06	9,37E+03	8,35E+06	7,08E+07	1,14E+06
Cs-135	2,32E+07	8,88E+06	3,80E+06	0,00E+00	5,00E+07	1,02E+09	1,21E+07
Cs-137	1,00E+13	1,88E+13	8,34E+12	2,54E+10	2,71E+13	2,00E+14	5,61E+12
Ba-133	0,00E+00	0,00E+00	6,78E+07	0,00E+00	2,74E+08	0,00E+00	0,00E+00
Sm-151	3,60E+10	1,80E+10	3,86E+09	0,00E+00	7,07E+10	1,57E+12	1,17E+10
Eu-152	2,93E+08	1,12E+08	7,95E+07	1,30E+05	5,06E+08	1,76E+10	1,33E+08
Eu-154	1,56E+11	5,93E+10	4,82E+10	4,74E+07	4,23E+11	5,73E+12	1,71E+11
Ho-166m	5,65E+03	1,47E+03	1,47E+03	0,00E+00	1,76E+04	1,79E+05	7,93E+03
Pb-210	1,18E+10	1,20E+09	6,71E+09	4,76E+08	1,39E+09	4,11E+08	2,14E+09
Ra-226	5,63E+10	6,10E+09	9,77E+10	1,54E+09	3,07E+09	1,23E+10	3,02E+09
Ra-228	9,27E+09	1,05E+00	1,17E+10	8,75E+07	5,07E+07	7,76E+01	2,89E+08
Th-232	1,12E+10	2,07E+10	1,85E+10	1,43E+10	1,88E+09	4,88E+09	1,30E+10
Pa-231	1,41E+03	6,83E+02	3,55E+09	5,75E+00	1,42E+04	2,39E+04	4,81E+06
U-232	7,68E+07	7,36E+06	5,20E+07	5,33E+03	6,78E+07	2,26E+07	2,89E+08
U-233	9,22E+05	1,22E+05	3,63E+08	1,88E+01	7,46E+06	1,17E+05	3,58E+08
U-234	3,11E+11	3,55E+09	2,59E+11	2,20E+11	6,75E+09	2,57E+09	1,11E+11
U-235	1,38E+10	1,02E+08	6,28E+09	9,28E+09	1,96E+08	1,26E+08	4,62E+09
U-236	2,67E+09	4,07E+08	7,07E+08	0,00E+00	1,04E+09	4,23E+08	3,91E+09
U-238	2,91E+11	2,35E+09	2,69E+11	2,06E+11	2,99E+09	2,64E+09	9,73E+10
Np-237	2,25E+07	1,16E+07	1,26E+07	8,37E+04	4,62E+07	3,31E+08	1,06E+07
Pu-238	4,49E+12	1,71E+12	5,94E+11	2,33E+06	3,38E+12	2,65E+12	2,10E+12
Pu-239	2,46E+12	1,68E+12	1,90E+11	5,83E+05	1,21E+12	2,73E+12	5,29E+11
Pu-240	2,32E+12	1,73E+12	2,31E+11	1,30E+06	1,38E+12	3,70E+12	6,82E+11
Pu-241	3,47E+14	1,92E+14	3,86E+13	1,65E+08	2,17E+14	4,29E+14	1,18E+14
Pu-242	3,99E+09	1,94E+09	5,94E+08	9,33E+03	3,27E+09	5,25E+09	1,99E+09
Pu-244	2,07E+02	1,07E+02	7,95E+01	0,00E+00	4,39E+02	1,79E+02	3,13E+02
Am-241	5,26E+12	2,59E+12	2,14E+11	5,00E+06	1,80E+12	2,52E+12	8,81E+11
Am-242m	1,61E+08	4,11E+07	4,26E+07	4,87E+04	3,64E+08	7,33E+09	1,16E+08
Am-243	2,04E+08	5,57E+07	6,87E+07	0,00E+00	7,73E+08	7,92E+09	3,53E+08
Cm-243	1,21E+08	3,05E+07	5,20E+07	0,00E+00	5,71E+08	4,67E+09	2,55E+08
Cm-244	5,76E+09	1,87E+09	4,11E+09	9,55E+05	4,59E+10	2,87E+11	2,24E+10
Cm-245	4,02E+05	1,36E+05	3,93E+05	3,07E+02	3,98E+06	2,24E+07	1,96E+06
Cm-246	2,49E+05	7,62E+04	4,16E+05	5,44E+01	4,45E+06	2,52E+07	2,24E+06
Cf-249	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,58E+01	3,08E+02	1,57E+01
α	1,52E+13	7,73E+12	1,89E+12	4,51E+11	7,84E+12	1,19E+13	4,45E+12
β/γ	3,69E+14	2,23E+14	6,34E+13	8,45E+10	2,77E+14	9,47E+14	1,29E+14

Tabelle 5.1: Fortsetzung: Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar für den Nachweis der Langzeitsicherheit der Schachtanlage Asse (in Bq, bezogen auf den 01.01.1980)

KaNr	7/750m	8/750m	10/750m	11/750m	12/750m	8a/511m	LAW	Gesamt
H-3	7,18E+11	5,42E+11	6,52E+10	4,03E+11	8,76E+10	1,22E+12	3,17E+12	4,38E+12
Be-10	1,05E+03	0,00E+00	4,71E+00	2,37E+02	2,74E+01	2,03E+03	1,93E+03	3,91E+03
C-14	1,85E+11	7,62E+11	8,04E+10	9,27E+11	1,65E+11	2,23E+11	3,64E+12	3,86E+12
Cl-36	4,59E+08	1,41E+08	5,45E+07	4,55E+09	6,10E+08	3,73E+07	8,94E+09	8,98E+09
Ca-41	2,42E+05	6,05E+04	2,80E+04	1,12E+06	2,03E+05	5,05E+05	2,93E+06	3,44E+06
Co-60	2,06E+13	1,89E+12	1,56E+12	7,17E+13	4,76E+12	2,37E+15	2,92E+14	2,66E+15
Ni-59	2,15E+10	6,87E+07	1,33E+08	3,65E+10	9,87E+08	5,79E+12	1,22E+11	5,90E+12
Ni-63	6,41E+12	1,18E+12	6,95E+11	3,83E+13	4,12E+12	7,88E+14	9,56E+13	8,82E+14
Se-79	7,60E+08	9,85E+06	1,02E+07	4,71E+08	7,52E+07	1,83E+09	2,40E+09	4,10E+09
Rb-87	4,31E+04	3,37E+02	6,05E+02	2,42E+04	4,94E+03	8,60E+04	1,24E+05	2,10E+05
Sr-90	1,23E+14	1,01E+12	2,06E+12	4,47E+13	1,26E+13	2,43E+14	3,25E+14	5,67E+14
Zr-93	3,38E+09	2,48E+07	5,56E+07	1,30E+09	4,19E+08	8,05E+09	9,38E+09	1,73E+10
Nb-94	5,41E+09	1,37E+09	6,21E+08	2,55E+10	4,46E+09	8,98E+09	6,58E+10	7,47E+10
Mo-93	4,60E+07	2,79E+05	5,40E+05	1,61E+07	4,00E+06	1,05E+08	1,19E+08	2,20E+08
Tc-99	2,78E+10	1,67E+08	5,53E+09	9,70E+09	3,00E+09	5,35E+10	9,70E+10	1,50E+11
Pd-107	1,90E+08	1,08E+06	2,75E+06	6,56E+07	2,08E+07	3,87E+08	5,15E+08	8,94E+08
Ag-108m	1,28E+09	3,16E+08	1,68E+08	7,65E+09	1,07E+09	3,45E+09	1,93E+10	2,27E+10
Cd-113m	5,01E+10	1,31E+09	9,76E+08	4,90E+10	6,22E+09	8,07E+10	1,91E+11	2,71E+11
Sn-126	1,04E+09	1,84E+07	2,02E+07	5,81E+08	1,51E+08	2,17E+09	3,29E+09	5,43E+09
Sb-125	5,13E+12	4,99E+10	3,94E+10	2,02E+12	2,48E+11	6,40E+12	1,49E+13	2,13E+13
I-129	6,26E+07	7,93E+05	1,02E+06	3,86E+07	7,71E+06	1,24E+08	1,96E+08	3,19E+08
Cs-135	8,08E+08	6,03E+06	1,18E+07	2,91E+08	8,96E+07	1,57E+09	2,27E+09	3,80E+09
Cs-137	1,87E+14	3,96E+12	4,24E+12	1,16E+14	2,16E+13	3,45E+14	6,03E+14	9,45E+14
Ba-133	0,00E+00	4,93E+11	1,31E+10	2,62E+07	1,96E+11	0,00E+00	7,03E+11	7,03E+11
Sm-151	1,01E+12	1,12E+10	2,76E+10	3,94E+11	2,15E+11	1,67E+12	3,26E+12	4,94E+12
Eu-152	1,18E+10	6,64E+07	1,36E+08	3,34E+09	1,02E+09	1,72E+10	3,42E+10	5,14E+10
Eu-154	1,33E+13	4,32E+10	4,01E+10	3,39E+12	2,60E+11	1,94E+13	2,35E+13	4,28E+13
Ho-166m	5,57E+05	1,70E+03	1,36E+03	1,40E+05	8,29E+03	9,00E+05	9,17E+05	1,82E+06
Pb-210	4,63E+08	3,35E+08	4,72E+08	7,66E+08	8,59E+08	1,15E+00	2,71E+10	2,71E+10
Ra-226	8,13E+09	8,12E+08	4,45E+09	3,11E+09	5,13E+09	1,81E+02	2,02E+11	2,02E+11
Ra-228	4,76E+01	1,31E+00	0,00E+00	1,36E+02	9,04E+07	1,30E+01	2,15E+10	2,15E+10
Th-232	6,23E+01	1,75E+11	1,27E+10	3,93E+10	4,20E+10	1,18E+07	3,54E+11	3,54E+11
Pa-231	5,60E+04	1,18E+03	3,70E+08	4,47E+04	2,60E+03	1,10E+05	3,92E+09	3,92E+09
U-232	7,91E+07	1,18E+07	3,71E+07	9,18E+07	2,19E+06	5,29E+07	7,15E+08	7,63E+08
U-233	4,64E+05	1,12E+06	1,53E+05	4,25E+05	1,40E+09	2,36E+09	2,13E+09	4,49E+09
U-234	4,42E+09	3,58E+11	1,49E+10	1,56E+10	1,54E+10	4,75E+09	1,32E+12	1,33E+12
U-235	9,17E+07	1,56E+10	9,94E+08	5,59E+08	6,59E+08	1,88E+08	5,23E+10	5,25E+10
U-236	1,05E+09	1,66E+08	4,95E+08	1,37E+09	1,38E+08	7,72E+08	1,20E+10	1,27E+10
U-238	1,50E+09	3,51E+11	1,31E+10	9,98E+09	1,48E+10	1,85E+09	1,26E+12	1,26E+12
Np-237	5,63E+08	7,26E+06	5,59E+06	2,41E+08	8,08E+07	1,04E+09	1,33E+09	2,37E+09
Pu-238	2,33E+13	1,11E+12	2,21E+10	6,04E+12	5,90E+11	1,53E+12	4,24E+13	4,38E+13
Pu-239	4,56E+12	4,69E+11	1,81E+10	2,83E+12	1,72E+12	1,05E+12	1,82E+13	1,92E+13
Pu-240	6,22E+12	5,18E+11	8,64E+09	2,85E+12	1,80E+12	1,02E+12	2,13E+13	2,23E+13
Pu-241	1,23E+15	7,04E+13	1,38E+12	4,11E+14	1,50E+14	1,29E+14	3,10E+15	3,21E+15
Pu-242	1,91E+10	1,05E+09	2,17E+07	5,96E+09	1,34E+09	1,76E+09	4,21E+10	4,36E+10
Pu-244	3,36E+03	1,38E+02	2,22E+00	7,87E+02	1,62E+01	1,20E+02	5,35E+03	5,47E+03
Am-241	5,06E+12	5,77E+11	3,01E+10	3,09E+12	1,72E+12	4,60E+12	2,26E+13	2,69E+13
Am-242m	7,66E+09	3,65E+07	4,17E+07	2,27E+09	2,80E+08	1,43E+10	1,82E+10	3,13E+10
Am-243	2,29E+10	7,44E+07	4,37E+07	5,77E+09	2,31E+08	3,98E+10	3,82E+10	7,80E+10
Cm-243	1,94E+10	5,31E+07	1,81E+07	4,62E+09	6,03E+07	2,86E+10	2,97E+10	5,84E+10
Cm-244	1,35E+12	4,52E+09	1,36E+09	3,35E+11	3,49E+09	2,50E+12	2,05E+12	4,56E+12
Cm-245	1,45E+08	3,99E+05	9,97E+04	3,44E+07	1,54E+05	2,18E+08	2,08E+08	4,26E+08
Cm-246	1,92E+08	4,37E+05	9,53E+04	4,40E+07	3,08E+04	2,49E+08	2,67E+08	5,16E+08
Cf-249	2,43E+03	0,00E+00	0,00E+00	5,04E+02	0,00E+00	2,31E+03	3,24E+03	5,55E+03
α	4,06E+13	3,58E+12	1,27E+11	1,52E+13	5,91E+12	1,08E+13	1,10E+14	1,20E+14
β/γ	1,59E+15	8,03E+13	1,02E+13	6,89E+14	1,94E+14	3,91E+15	4,46E+15	8,35E+15

Tabelle 5.2: *Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar für den Nachweis der Langzeitsicherheit der Schachanlage Asse (in Bq, bezogen auf den 01.01.2003)*

KaNr	1/750m	2/750m	2/750mNA2	4/750m	5/750m	6/750m	7/725m
H-3	3,51E+10	3,02E+09	8,47E+10	1,95E+09	2,00E+10	2,07E+11	2,03E+10
Be-10	3,43E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,28E+01	5,70E+02	1,16E+01
C-14	4,50E+10	6,70E+10	6,50E+11	1,49E+09	2,70E+11	4,07E+11	7,60E+10
Cl-36	1,21E+08	1,61E+08	9,64E+08	2,38E+06	7,72E+08	1,03E+09	8,21E+07
Ca-41	5,47E+04	9,28E+04	1,82E+05	1,17E+03	3,89E+05	5,42E+05	1,92E+04
Co-60	1,51E+11	3,78E+11	4,20E+11	7,66E+08	6,07E+11	7,65E+12	9,63E+10
Ni-59	3,47E+08	1,03E+08	5,47E+07	0,00E+00	3,63E+09	5,85E+10	2,09E+08
Ni-63	1,07E+12	2,00E+12	4,14E+12	2,77E+10	1,04E+13	2,03E+13	4,55E+11
Se-79	2,50E+07	2,03E+07	2,52E+07	1,02E+05	1,11E+08	8,88E+08	1,60E+07
Rb-87	1,42E+03	1,01E+03	9,11E+02	2,84E+00	4,97E+03	4,28E+04	7,05E+02
Sr-90	4,42E+12	1,03E+12	9,52E+11	6,47E+08	4,38E+12	6,93E+13	1,33E+12
Zr-93	1,28E+08	4,56E+07	1,51E+07	0,00E+00	1,93E+08	3,80E+09	6,52E+07
Nb-94	1,27E+09	1,96E+09	3,81E+09	2,88E+07	8,50E+09	1,23E+10	4,46E+08
Mo-93	1,40E+06	4,19E+05	2,22E+05	0,00E+00	2,37E+06	4,74E+07	8,48E+05
Tc-99	1,53E+09	3,08E+08	1,65E+10	0,00E+00	1,50E+09	2,93E+10	1,94E+09
Pd-107	6,29E+06	1,98E+06	7,78E+05	0,00E+00	8,89E+06	2,24E+08	3,12E+06
Ag-108m	2,89E+08	5,74E+08	1,17E+09	6,91E+06	2,71E+09	3,60E+09	1,14E+08
Cd-113m	6,11E+08	6,56E+08	1,65E+09	9,47E+06	4,60E+09	1,91E+10	4,45E+08
Sn-126	4,37E+07	2,88E+07	3,95E+07	2,44E+05	1,25E+08	1,23E+09	2,08E+07
Sb-125	1,54E+08	1,42E+08	6,79E+08	7,30E+05	1,24E+09	2,05E+10	1,94E+08
I-129	2,41E+06	1,82E+06	2,05E+06	9,37E+03	8,35E+06	7,08E+07	1,14E+06
Cs-135	2,32E+07	8,88E+06	3,80E+06	0,00E+00	5,00E+07	1,02E+09	1,21E+07
Cs-137	5,91E+12	1,11E+13	4,91E+12	1,50E+10	1,59E+13	1,18E+14	3,30E+12
Ba-133	0,00E+00	0,00E+00	1,49E+07	0,00E+00	6,01E+07	0,00E+00	0,00E+00
Sm-151	3,02E+10	1,50E+10	3,23E+09	0,00E+00	5,92E+10	1,32E+12	9,80E+09
Eu-152	9,03E+07	3,44E+07	2,45E+07	3,99E+04	1,56E+08	5,42E+09	4,10E+07
Eu-154	2,44E+10	9,26E+09	7,53E+09	7,41E+06	6,61E+10	8,96E+11	2,66E+10
Ho-166m	5,58E+03	1,45E+03	1,45E+03	0,00E+00	1,74E+04	1,76E+05	7,83E+03
Pb-210	3,44E+10	3,69E+09	5,29E+10	1,01E+09	2,24E+09	6,47E+09	2,58E+09
Ra-226	5,57E+10	6,04E+09	9,68E+10	1,52E+09	3,04E+09	1,22E+10	2,99E+09
Ra-228	5,78E+08	6,56E+02	7,28E+08	5,46E+06	3,16E+06	4,84E+00	1,80E+07
Th-232	1,12E+10	2,07E+10	1,85E+10	1,43E+10	1,88E+09	4,88E+09	1,30E+10
Pa-231	1,41E+03	6,82E+02	3,55E+09	5,74E+00	1,42E+04	2,39E+04	4,81E+06
U-232	6,10E+07	5,84E+06	4,12E+07	4,23E+03	5,38E+07	1,80E+07	2,30E+08
U-233	9,22E+05	1,22E+05	3,63E+08	1,88E+01	7,46E+06	1,17E+05	3,58E+08
U-234	3,11E+11	3,55E+09	2,59E+11	2,20E+11	6,75E+09	2,57E+09	1,11E+11
U-235	1,38E+10	1,02E+08	6,28E+09	9,28E+09	1,96E+08	1,26E+08	4,62E+09
U-236	2,67E+09	4,07E+08	7,07E+08	0,00E+00	1,04E+09	4,23E+08	3,91E+09
U-238	2,91E+11	2,35E+09	2,69E+11	2,06E+11	2,99E+09	2,64E+09	9,73E+10
Np-237	9,45E+07	4,91E+07	1,79E+07	8,38E+04	8,04E+07	3,91E+08	2,85E+07
Pu-238	3,74E+12	1,42E+12	4,95E+11	1,94E+06	2,82E+12	2,21E+12	1,75E+12
Pu-239	2,46E+12	1,68E+12	1,90E+11	5,83E+05	1,21E+12	2,73E+12	5,28E+11
Pu-240	2,31E+12	1,72E+12	2,31E+11	1,29E+06	1,38E+12	3,69E+12	6,80E+11
Pu-241	1,14E+14	6,31E+13	1,27E+13	5,42E+07	7,13E+13	1,41E+14	3,89E+13
Pu-242	3,99E+09	1,94E+09	5,94E+08	9,33E+03	3,27E+09	5,25E+09	1,99E+09
Pu-244	2,07E+02	1,07E+02	7,95E+01	0,00E+00	4,39E+02	1,79E+02	3,13E+02
Am-241	1,26E+13	6,67E+12	1,05E+12	8,40E+06	6,46E+12	1,18E+13	3,43E+12
Am-242m	1,44E+08	3,67E+07	3,80E+07	4,35E+04	3,25E+08	6,55E+09	1,03E+08
Am-243	2,04E+08	5,56E+07	6,86E+07	0,00E+00	7,71E+08	7,90E+09	3,53E+08
Cm-243	6,98E+07	1,76E+07	3,01E+07	0,00E+00	3,30E+08	2,70E+09	1,48E+08
Cm-244	2,38E+09	7,73E+08	1,70E+09	3,96E+05	1,90E+10	1,19E+11	9,27E+09
Cm-245	4,01E+05	1,36E+05	3,92E+05	3,06E+02	3,97E+06	2,24E+07	1,95E+06
Cm-246	2,48E+05	7,59E+04	4,14E+05	5,42E+01	4,44E+06	2,51E+07	2,23E+06
Cf-249	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,46E+01	0,00E+00	1,50E+01
α	2,18E+13	1,15E+13	2,62E+12	4,51E+11	1,19E+13	2,06E+13	6,63E+12
β/γ	1,26E+14	7,76E+13	2,39E+13	4,86E+10	1,03E+14	3,59E+14	4,42E+13

Tabelle 5.2: Fortsetzung: Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar für den Nachweis der Langzeitsicherheit der Schachtanlage Asse (in Bq, bezogen auf den 01.01.2003)

KaNr	7/750m	8/750m	10/750m	11/750m	12/750m	8a/511m	LAW	Gesamt
H-3	1,97E+11	1,49E+11	1,79E+10	1,10E+11	2,40E+10	3,36E+11	8,70E+11	1,20E+12
Be-10	1,05E+03	0,00E+00	4,71E+00	2,37E+02	2,74E+01	2,03E+03	1,93E+03	3,91E+03
C-14	1,85E+11	7,60E+11	8,02E+10	9,25E+11	1,64E+11	2,23E+11	3,63E+12	3,85E+12
Cl-36	4,59E+08	1,41E+08	5,45E+07	4,55E+09	6,10E+08	3,73E+07	8,94E+09	8,98E+09
Ca-41	2,42E+05	6,04E+04	2,80E+04	1,12E+06	2,03E+05	5,05E+05	2,93E+06	3,44E+06
Co-60	9,99E+11	9,17E+10	7,55E+10	3,48E+12	2,31E+11	1,15E+14	1,42E+13	1,29E+14
Ni-59	2,15E+10	6,87E+07	1,33E+08	3,65E+10	9,86E+08	5,79E+12	1,22E+11	5,90E+12
Ni-63	5,47E+12	1,01E+12	5,93E+11	3,26E+13	3,52E+12	6,72E+14	8,15E+13	7,52E+14
Se-79	7,60E+08	9,84E+06	1,02E+07	4,71E+08	7,52E+07	1,83E+09	2,40E+09	4,10E+09
Rb-87	4,31E+04	3,37E+02	6,05E+02	2,42E+04	4,94E+03	8,60E+04	1,24E+05	2,10E+05
Sr-90	7,08E+13	5,79E+11	1,18E+12	2,57E+13	7,22E+12	1,39E+14	1,86E+14	3,25E+14
Zr-93	3,38E+09	2,48E+07	5,56E+07	1,30E+09	4,19E+08	8,05E+09	9,38E+09	1,73E+10
Nb-94	5,40E+09	1,37E+09	6,21E+08	2,55E+10	4,46E+09	8,98E+09	6,57E+10	7,46E+10
Mo-93	4,58E+07	2,78E+05	5,38E+05	1,60E+07	3,99E+06	1,05E+08	1,19E+08	2,19E+08
Tc-99	2,78E+10	1,67E+08	5,53E+09	9,70E+09	3,00E+09	5,35E+10	9,69E+10	1,50E+11
Pd-107	1,90E+08	1,08E+06	2,75E+06	6,56E+07	2,08E+07	3,87E+08	5,15E+08	8,94E+08
Ag-108m	1,23E+09	3,04E+08	1,62E+08	7,36E+09	1,03E+09	3,32E+09	1,85E+10	2,19E+10
Cd-113m	1,62E+10	4,23E+08	3,15E+08	1,58E+10	2,01E+09	2,60E+10	6,17E+10	8,75E+10
Sn-126	1,04E+09	1,84E+07	2,01E+07	5,80E+08	1,51E+08	2,17E+09	3,29E+09	5,43E+09
Sb-125	1,58E+10	1,53E+08	1,21E+08	6,22E+09	7,62E+08	1,97E+10	4,58E+10	6,55E+10
I-129	6,26E+07	7,93E+05	1,02E+06	3,86E+07	7,71E+06	1,24E+08	1,96E+08	3,19E+08
Cs-135	8,08E+08	6,03E+06	1,18E+07	2,91E+08	8,96E+07	1,57E+09	2,27E+09	3,80E+09
Cs-137	1,10E+14	2,33E+12	2,49E+12	6,84E+13	1,27E+13	2,03E+14	3,54E+14	5,56E+14
Ba-133	0,00E+00	1,08E+11	2,88E+09	5,75E+06	4,30E+10	0,00E+00	1,54E+11	1,54E+11
Sm-151	8,48E+11	9,37E+09	2,31E+10	3,30E+11	1,80E+11	1,40E+12	2,73E+12	4,13E+12
Eu-152	3,63E+09	2,04E+07	4,17E+07	1,03E+09	3,15E+08	5,29E+09	1,05E+10	1,58E+10
Eu-154	2,07E+12	6,75E+09	6,26E+09	5,29E+11	4,07E+10	3,03E+12	3,66E+12	6,69E+12
Ho-166m	5,50E+05	1,67E+03	1,35E+03	1,38E+05	8,18E+03	8,88E+05	9,05E+05	1,79E+06
Pb-210	4,36E+09	5,77E+08	2,49E+09	1,95E+09	3,03E+09	9,20E+01	1,16E+11	1,16E+11
Ra-226	8,05E+09	8,04E+08	4,41E+09	3,08E+09	5,08E+09	1,79E+02	2,00E+11	2,00E+11
Ra-228	2,97E+00	8,20E-02	0,00E+00	8,50E+00	5,64E+06	8,10E-01	1,34E+09	1,34E+09
Th-232	6,23E+01	1,75E+11	1,27E+10	3,93E+10	4,20E+10	1,18E+07	3,54E+11	3,54E+11
Pa-231	5,59E+04	1,18E+03	3,70E+08	4,47E+04	2,60E+03	1,10E+05	3,92E+09	3,92E+09
U-232	6,28E+07	9,32E+06	2,94E+07	7,28E+07	1,74E+06	4,20E+07	5,67E+08	6,06E+08
U-233	4,64E+05	1,12E+06	1,53E+05	4,25E+05	1,40E+09	2,36E+09	2,13E+09	4,49E+09
U-234	4,42E+09	3,58E+11	1,49E+10	1,56E+10	1,54E+10	4,75E+09	1,32E+12	1,32E+12
U-235	9,17E+07	1,56E+10	9,94E+08	5,59E+08	6,59E+08	1,88E+08	5,23E+10	5,25E+10
U-236	1,05E+09	1,66E+08	4,95E+08	1,37E+09	1,38E+08	7,72E+08	1,20E+10	1,27E+10
U-238	1,50E+09	3,51E+11	1,31E+10	9,98E+09	1,48E+10	1,85E+09	1,26E+12	1,26E+12
Np-237	7,20E+08	1,83E+07	5,94E+06	3,03E+08	1,08E+08	1,09E+09	1,79E+09	2,87E+09
Pu-238	1,95E+13	9,27E+11	1,84E+10	5,04E+12	4,92E+11	1,28E+12	3,54E+13	3,65E+13
Pu-239	4,55E+12	4,69E+11	1,81E+10	2,83E+12	1,72E+12	1,05E+12	1,82E+13	1,92E+13
Pu-240	6,20E+12	5,17E+11	8,62E+09	2,84E+12	1,79E+12	1,02E+12	2,12E+13	2,22E+13
Pu-241	4,05E+14	2,32E+13	4,55E+11	1,35E+14	4,94E+13	4,25E+13	1,02E+15	1,05E+15
Pu-242	1,91E+10	1,05E+09	2,17E+07	5,96E+09	1,34E+09	1,76E+09	4,21E+10	4,36E+10
Pu-244	3,36E+03	1,38E+02	0,00E+00	7,87E+02	1,62E+01	1,20E+02	5,35E+03	5,47E+03
Am-241	3,17E+13	2,09E+12	5,91E+10	1,19E+13	4,93E+12	7,25E+12	8,93E+13	9,58E+13
Am-242m	6,84E+09	3,26E+07	3,72E+07	2,03E+09	2,50E+08	1,28E+10	1,63E+10	2,80E+10
Am-243	2,28E+10	7,42E+07	4,36E+07	5,75E+09	2,31E+08	3,97E+10	3,81E+10	7,78E+10
Cm-243	1,12E+10	3,07E+07	1,04E+07	2,67E+09	3,49E+07	1,66E+10	1,72E+10	3,37E+10
Cm-244	5,59E+11	1,87E+09	5,63E+08	1,39E+11	1,44E+09	1,04E+12	8,51E+11	1,89E+12
Cm-245	1,45E+08	3,98E+05	9,95E+04	3,43E+07	1,54E+05	2,18E+08	2,08E+08	4,26E+08
Cm-246	1,91E+08	4,35E+05	9,50E+04	4,39E+07	3,07E+04	2,48E+08	2,66E+08	5,14E+08
Cf-249	2,32E+03	0,00E+00	0,00E+00	4,82E+02	0,00E+00	2,21E+03	3,10E+03	5,31E+03
α	6,26E+13	4,91E+12	1,52E+11	2,29E+13	9,02E+12	1,17E+13	1,68E+14	1,79E+14
β/γ	5,96E+14	2,82E+13	4,94E+12	2,67E+14	7,35E+13	1,18E+15	1,67E+15	2,84E+15

6 Literatur und sonstige Quellen

- [L1] M. Hoff, H. Meyer, M. Tholen
Erstellung einer Datenbank zur Aktualisierung des Radionuklidinventars im Forschungsbergwerk Asse
Forschungsbergwerk Asse, Bericht Nr. 1/2000.
- [L2] Dr. U. Gerstmann, GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH
Protokoll zur Besprechung in der WAK am 25.01.2000.
- [L3] Bedingungen für die Abgabe radioaktiver Abfälle und kontaminierter Stoffe an die Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe
M. Jacob, September 1979, Kernforschungszentrum Karlsruhe.
- [L4] Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe GmbH
Nuklidvektoren für Asse-Abfälle
Schreiben ZB/JL/jm/99/0388 vom 22.10.1999.
- [L5] Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Betriebsgesellschaft mbH
Nachdeklaration der im Zeitraum 1967 bis 1978 an das Versuchsendlager "ASSE" abgelieferten radioaktiven Abfälle
Schreiben LÜR-CHA/rru/98/7174 vom 25.05.1998.
- [L6] Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Nachdeklaration der im Zeitraum 1967 - 1978 an das Versuchsendlager Asse abgelieferten radioaktiven Abfälle
Schreiben me009eme vom 30.10.2000.
- [L7] Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Richtlinie zur Kontrolle radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die nicht an eine Landessammelstelle abgeliefert werden
Bundesanzeiger Nr. 63 a vom 16.01.1989.
- [L8] TÜV Bayer/Sachsen
Bericht zur Überprüfung des Abfallflussverfolgungs- und Produktkontrollsystems (AVK) und Verbesserungsvorschläge entsprechend der BMU-Abfallrichtlinie
Forschungsvorhaben SR 2203, Juni 1995.
- [L9] Gesellschaft für Nuklear Service (GNS)
Berechnung von nuklidspezifischen Aktivitäten in radioaktiven Abfällen aus Kernkraftwerken im Forschungsbergwerk Asse
Bericht GNS B 013/2001 Rev. 1, Februar 2001.

- [L10] Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Betriebsgesellschaft mbH
Protokoll zur Besprechung am 25.01.2000 über radioaktive Abfälle der WAK im Ver-
suchsendlager Asse
Schreiben ZB/JL/jm/2000/041 vom 08.02.2000.

Exemplar für BMBF und BMU

Anhang

Hinweise zur Datenbank ASSEKAT

Die vom FB Asse zur Verfügung gestellte Datenbank ASSEKAT 7.0 wurde um einige Tabellen erweitert. Abbildung A.1 zeigt die Verknüpfungen der ISS-Tabellen untereinander und mit der Tabelle CHARGEN.

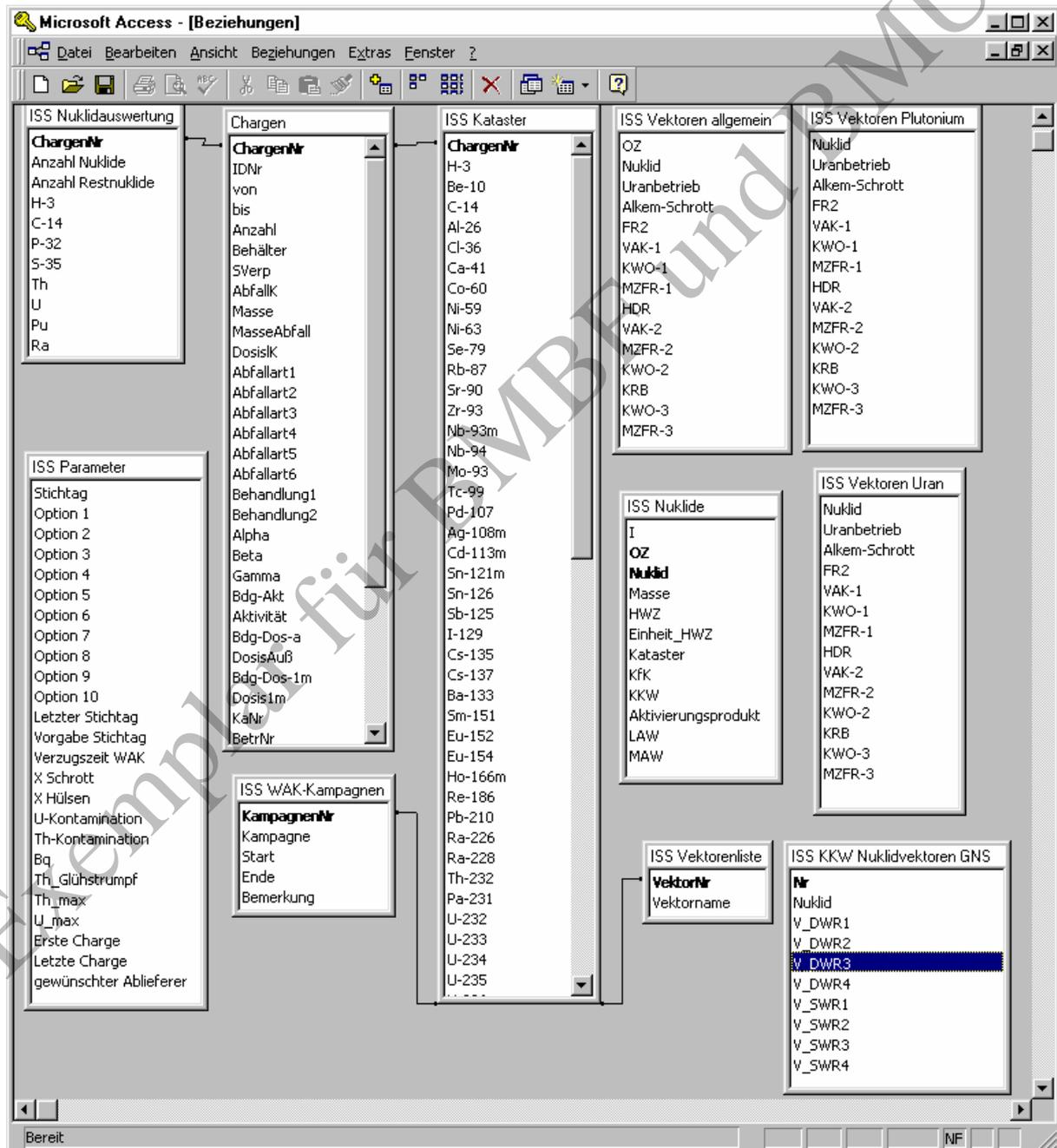


Abbildung A.1: Verknüpfungen (auszugsweise) der ISS-Tabellen untereinander und mit der Tabelle CHARGEN

Der Name der erweiterten Datenbank lautet "ASSEKAT ISS 8". Die Aktivitätsangaben und Zusatzinformationen befinden sich meist in den Tabellen, deren Namen mit "ISS" beginnen. Die Bedeutungen der Tabellenfelder sind in deren Entwurfsansichten beschrieben. Ein Teil der Tabellen wird nur für den technischen Ablauf der Inventarberechnung benötigt und daher nicht näher erläutert.

In der Tabelle ISS NUKLIDE (Entwurfsansicht s. Abbildung A.2) kann im Feld KATASTER gewählt werden, ob ein Nuklid in das Inventar aufgenommen werden soll. Des weiteren enthält die Tabelle u. a. die kernphysikalischen Daten, insbesondere die bei der Inventarberechnung verwendeten Halbwertszeiten der Nuklide.

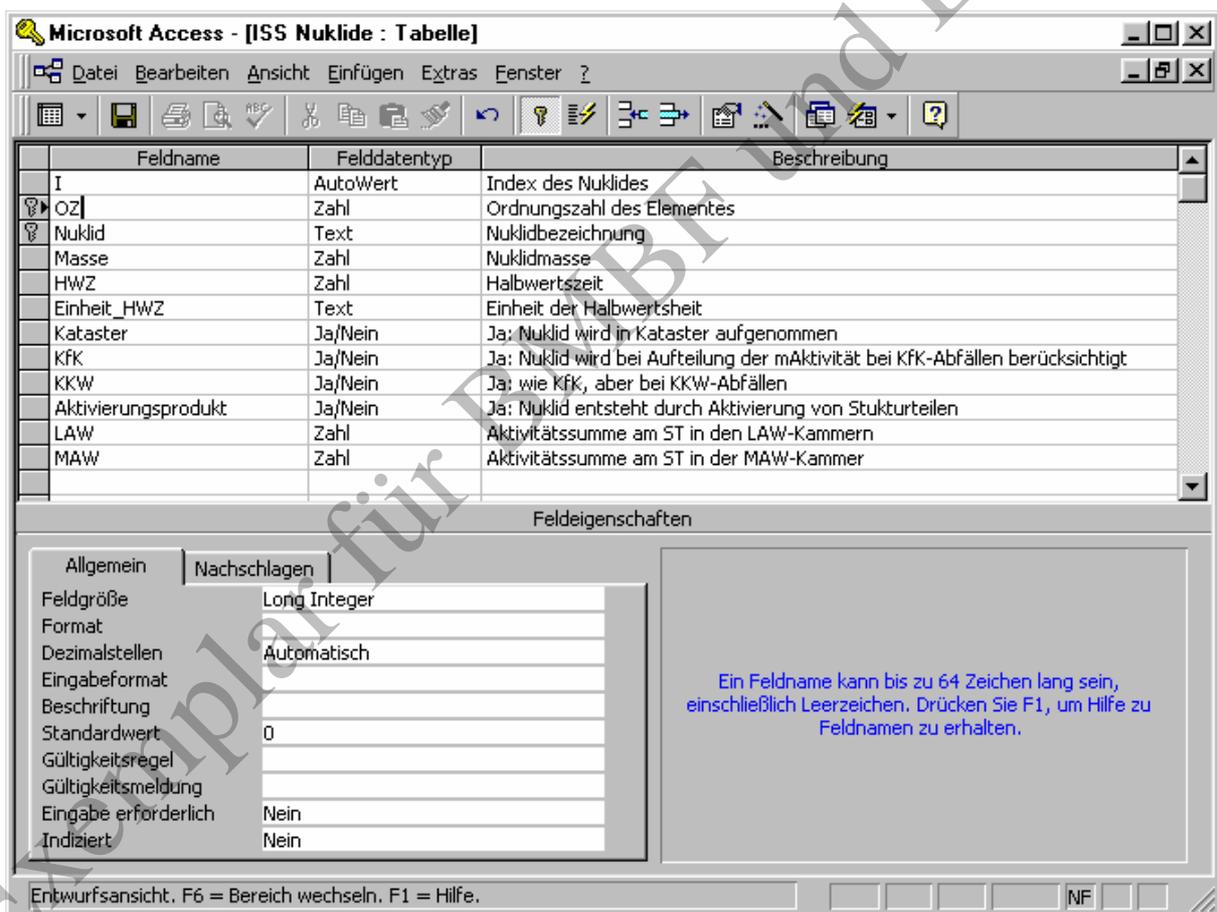


Abbildung A.2: Entwurfsansicht der Tabelle ISS NUKLIDE

In der Tabelle ISS KATASTER sind für alle in der Tabelle ISS NUKLIDE ausgewählten Nuklide die berechneten Aktivitäten chargenweise und bezogen auf den Stichtag gespeichert. Des weiteren enthält die Tabelle Verweise auf WAK-Kampagnen, Nuklidvektoren, und den Hinweis, ob für die Charge Aktivitäten berechnet wurden (Feld CH_BER), ob bei der Berechnung Fehler auftraten (Feld CHARGE_OK) oder ob die Berechnung der Charge aufgrund mangelhafter Datenlage bewusst unterdrückt wurde (Feld CHARGE_VERN). Im Feld HAS

(Hauptabfallströme) wird die Kennung (s. Tabelle 2.17) des einer Abfallcharge zugeordneten Hauptabfallstroms gespeichert. Alle Abfallchargen des FZK, für die Kernbrennstoffmassen in der Tabelle KERNBRENNSTOFFE MOD vorlagen, wurden einem Hauptabfallstrom zugeordnet. Im Feld BEMERKUNG sind zusätzliche Informationen zur Aktivitätsberechnung festgehalten. Durch die Einträge in das Feld BEMERKUNGEN kann die Vorgehensweise bei der Aktivitätsberechnung der Charge weitgehend nachvollzogen werden. Die zur Inventarberechnung benutzten Parameter sind in der Tabelle ISS PARAMETER abgespeichert. Sie sind jedoch auch in diesem Bericht aufgeführt (s. u. a. Tabelle 2.6).

Exemplar für BMBF und BMU