nagra.

# Technischer Bericht 22-05

## Modellhaftes Inventar radioaktiver Materialien MIRAM-RBG

April 2023

**Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle**

Hardstrasse 73
5430 Wettingen
Schweiz
Telefon 056 437 11 11

nagra.ch

nagra.

# Technischer Bericht 22-05

## Modellhaftes Inventar radioaktiver Materialien MIRAM-RBG

April 2023

**Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle**

Hardstrasse 73
5430 Wettingen
Schweiz
Telefon 056 437 11 11
nagra.ch

**ISSN 1015-2636**

Copyright © 2023 by Nagra, Wettingen (Schweiz) / Alle Rechte vorbehalten.
Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Nagra unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Übersetzungen, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen und Programmen, für Mikroverfilmungen, Vervielfältigungen usw.

# Zusammenfassung

MIRAM steht für «**M**odellhaftes **I**nventar **r**adioaktiver **M**aterialien», eine speziell für die Zwecke der Nagra entwickelte Datenbank zur Verwaltung, radiologischen Berechnung und automatisierten Auswertung aller heute vorhandenen und in Zukunft anfallenden radioaktiven Abfälle der Schweiz, inklusive der abgebrannten Brennelemente.

**Randbedingungen und Zweck**

MIRAM wird innerhalb der jeweiligen Randbedingungen stetig weiterentwickelt und verfeinert. Dabei fliessen die sich entwickelnden Planungsannahmen und Kenntnis der bereits vorhandenen radioaktiven Abfälle ein. Für wichtige Meilensteine wird die Datenbank konsolidiert, eingefroren und dokumentiert. Das MIRAM-RBG ist der gegenwärtige Stand des sich stetig weiterentwickelnden MIRAM. Der Stand MIRAM-RBG wurde speziell für das Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) für das geologische Tiefenlager, insbesondere als eine Basis der Betrachtungen zur Langzeitsicherheit erstellt. Die Datenbasis und die Beschreibung der eingeflossenen Annahmen und Randbedingungen in Form dieses Berichtes sind Bestandteil des RBG. Die Randbedingungen entsprechen zu einem grossen Teil denen des Entsorgungsprogramms 21. Eine wesentliche Änderung gegenüber dem Entsorgungsprogramm 21 ergibt sich aus dem Vorschlag, die Verpackungsanlagen am Standort der Zwilag zu planen. MIRAM-RBG beschreibt hinsichtlich der Abfallmengen, Material und Nuklidinventare ein nach bestem Wissen realistisch abgeschätztes Inventar radioaktiver Abfälle. Für das Nuklidinventar werden zusätzlich die Ungewissheiten ausgewiesen. Für Analysen, die auf konservativen Daten beruhen, werden je nach Bedarf separate Abschätzungen getroffen und in den jeweiligen Berichten dokumentiert.

**Datenbasis**

In MIRAM-RBG ist der Bestand der effektiv produzierten (d. h. endlagergerecht konditionierten) radioaktiven Abfälle der Schweiz per 31.12.2019 erfasst. Alle Angaben in MIRAM-RBG zu den nach diesem Zeitpunkt angefallenen bzw. anfallenden Abfällen basieren auf einer Prognose, bei welcher die Abfälle modellhaft nach aktuellem Wissensstand charakterisiert und quantifiziert werden.

**Abfallgebindetypen**

Über sogenannte Abfallgebindetypen (AGT) werden die relevanten Charakteristika der Abfälle, d. h. chemische und radiologische Eigenschaften sowie der Aufbau von Abfallgebinden, in formalisierter Weise beschrieben. Somit besteht eine übersichtliche und nachvollziehbare Einteilung der diversen Abfälle. Einzelgebinde innerhalb eines AGT unterscheiden sich nur in einigen vorbestimmten Eigenschaften voneinander, und in diesen nur in einem bestimmten, vorab spezifizierten Bereich. MIRAM-RGB umfasst 395 reale AGT zu vorhandenen Abfällen und 257 Modell-AGT für in Zukunft erwartete Abfälle.

Die Charakteristika der in MIRAM erfassten Abfälle basieren grundsätzlich auf den in den AGT-Spezifikationen enthaltenen Informationen. Nur bei AGT mit fortgeschrittener Produktion wird zusätzlich auf die in den «Individuellen Zusatzdokumentationen» der realen Einzelgebinde deklarierten Angaben zurückgegriffen. Für Modell-AGT wird auf Modellrechnungen und Abschätzungen, wenn möglich auf Basis vergleichbarer, bereits existierender AGT abgestützt. Primärangaben zu Materialien werden dabei standardisiert, Nuklidvektoren ggf. für die Bedürfnisse der Planung und Sicherheitsnachweise des geologischen Tiefenlagers erweitert und für korrosionssensitive Materialien (Metalle) Informationen zu deren Geometrien erfasst.

**Repräsentative Gebinde**

Durch den radioaktiven Zerfall und den zeitlich verteilten Anfall der Einzelgebinde sind alle damit verknüpften radiologischen Kenndaten zeitabhängig. Deshalb werden in MIRAM im Hinblick auf Analysen, v. a. zur Langzeitsicherheit, sogenannte repräsentative Gebinde für die AGT definiert. Diese beschreiben die mittleren Eigenschaften der Einzelgebinde eines AGT zu einem bestimmten absoluten Referenzzeitpunkt. Als Referenzjahr für die repräsentativen Gebinde in MIRAM-RBG wird das Jahr 2075 angesetzt, d. h. das Ende des Einlagerungsbetriebs des HAA-Lagers für hochaktive radioaktive Abfälle. Die Behälterkonfigurationen und die Materialinventare der repräsentativen Gebinde sind identisch zu denen der AGT.

**Ableitung der Kenndaten des Inventars**

Für jeden AGT werden die gemäss seiner Spezifikation zu deklarierenden Kenndaten und Eigenschaften des chemischen und radiologischen Inventars erhoben. Die Methoden hierzu sind abhängig von der Eigenschaft und Herkunft des jeweiligen Rohabfalls und vor allem vom Prozessschritt, in dem der Abfall anfällt. Nicht alle Methoden sind für alle Abfälle in gleicher Weise geeignet. Zum Teil ergänzen sich Methoden und werden parallel – auch im Sinne einer Qualitätskontrolle – angewendet. Die teilweise von der Nagra speziell hierfür entwickelten Werkzeuge bieten darüber hinaus auch die Möglichkeit zur Verpackungsplanung und -optimierung, wie z. B. AMAC (**A**dvanced **M**ethodology for **A**ctivation **C**haracterization).

**Verpackungskonzept**

Im Sinne einer einfachen und sicheren Handhabung bei der Einlagerung der schwach- und mittelaktiven Abfälle sowie alphatoxischen Abfällen in das geologische Tiefenlager sollen nach derzeitigem Lagerkonzept ausschliesslich standardisierte Endlagerbehälter verwendet werden. Dieses Konzept mit einer verringerten Anzahl unterschiedlicher, zu handhabender Behälter wird in MIRAM-RBG berücksichtigt.

**Datenauswertung**

Die Datenbank MIRAM ermöglicht eine umfangreiche Datenanalyse. Für gewisse Fragestellungen und für einen raschen Überblick kann es von Vorteil sein, den Detaillierungsgrad der sich aus der grossen Anzahl der AGT ergibt, zu verringern. Dafür werden in MIRAM Abfallgebindetypen mit vergleichbaren Charakteristiken zu sogenannten Abfallsorten gruppiert. Hierzu werden fünf Kriterien zur Kategorisierung verwendet. Diese und weitere Kategorisierungen bieten erweiterte Optionen für Analysen.

# Summary

MIRAM stands for "**M**odel **I**nventory of **Ra**dioactive **M**aterials" and is a database developed specifically for Nagra's purposes for the management, radiological calculation and automated analysis of all of Switzerland's radioactive waste that exists today and will be produced in the future, including spent fuel assemblies.

**Boundary conditions and purpose**

MIRAM is continuously developed and refined taking into account changes in boundary conditions and knowledge about already produced radioactive waste. The database is consolidated and documented for important project milestones. MIRAM-RBG is such a snapshot of the continuously evolving MIRAM and was specifically developed for the general licence application (*Rahmenbewilligungsgesuch*, RBG) for the deep geological repository, specifically as a basis for long-term safety analyses. The database and the description of the assumptions and boundary conditions incorporated in the form of this report will be part of the general licence application. The boundary conditions largely correspond to those outlined in the Waste Management Programme 2021. A key change compared to the Waste Management Programme 2021 is the proposal to locate the waste encapsulation plants at the site of the Zwilag interim storage facility. MIRAM-RBG describes a realistic best-estimate waste volume and material and nuclide inventory. For the nuclide inventory, the uncertainty is also given. Analyses relying on conservative assumptions will, if necessary, use specifically estimated data that will be documented in the respective reports.

**Data basis**

MIRAM-RBG compiles the inventory of radioactive waste actually produced (i.e. conditioned for deep geological disposal) in Switzerland as of 31st December 2019. All information in MIRAM-RBG on the waste produced or arising after this date is based on a forecast in which the waste is characterised and quantified as a model in accordance with the current state of knowledge.

**Waste package types**

The relevant characteristics of the waste, i.e. chemical and radiological properties as well as the structure of the waste packages, are described in a formalised manner using so-called waste package types (*Abfallgebindetypen*, AGT). This provides a clear and traceable classification of the various waste types. Individual waste packages within an AGT differ from each other only in certain predefined properties and these only within a previously specified range. MIRAM-RGB includes 395 real AGTs for existing waste and 257 model AGTs for waste expected to arise in the future.

The characteristics of the waste compiled in MIRAM are based on the information provided in the AGT specifications. For AGTs with advanced production, information declared in the Individual Supplementary Documentation for the real waste packages is also used. Model AGTs are based on model calculations and estimates, which rely, where possible, on comparable, already existing AGTs. Primary information on materials is standardised, nuclide vectors are expanded if needed for planning and safety case purposes for the deep geological repository, and information on the geometries of corrosion-sensitive materials (metals) is recorded.

**Representative waste packages**

Due to radioactive decay and the accumulation of the waste packages distributed over time, all associated radiological characteristics are time dependent. For this reason, so-called representtative waste packages for the AGTs are defined in MIRAM with a view to analyses, particularly relating to long-term safety. These representative waste packages describe the average properties of the waste packages of an AGT at a certain absolute reference timepoint. The year 2075, i.e. the end of emplacement operations of high-level waste in the HLW repository, is taken as the reference year for the representative waste packages in MIRAM-RBG. The canister configurations and the material inventories of the representative waste packages are identical to those of the AGTs.

**Derivation of inventory properties**

For each AGT, the characteristics and properties of the chemical and radiological inventory to be declared according to its specification are collected. The methods for this depend on the properties and origin of the respective raw waste and particularly on the process step in which the waste is produced. Not all methods are equally suitable for all waste types. Some methods complement each other and are applied in parallel – also for the purpose of quality control. Nagra was partly involved in further developing tools for this purpose. One of these is AMAC (**A**dvanced **M**ethodology for **A**ctivation **C**haracterization), which also offers the possibility to plan and optimise packaging.

**Packaging concept**

In the interest of simple and safe handling during emplacement of low- and intermediate-level waste and alpha-toxic waste in the deep geological repository, the current disposal concept foresees using only standardised disposal containers. This concept, with a reduced number of containers requiring individual handling, is taken into account in MIRAM-RBG.

**Data compilation**

MIRAM itself enables extensive data analysis. For certain questions and for a quick overview, it can be advantageous to reduce the level of detail resulting from the large number of AGTs. To this end, waste package types with comparable characteristics are grouped into so-called waste types in MIRAM. Five criteria are used to categorise these. Along with other categorisations, these offer extended options for analyses.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung ..... I

Summary ..... III

Inhaltsverzeichnis ..... V

Tabellenverzeichnis ..... VII

Figurenverzeichnis ..... VII

Beilagenverzeichnis ..... VIII

Abkürzungsverzeichnis ..... IX

**1 Einleitung ..... 1**
1.1 MIRAM-RBG ..... 1
1.2 Weiterentwicklung seit MIRAM 14 ..... 3

**2 Konzept der MIRAM-Datenbasis ..... 5**
2.1 ISRAM der Abfallproduzenten ..... 5
2.2 Abfallgebindetyp ..... 5
2.2.1 Definition ..... 5
2.2.2 Eigenschaften und Aufbau eines Abfallgebindetypen ..... 7
2.3 ISRAM-ZDB ..... 9
2.4 ISRAM-Nagra ..... 9
2.4.1 Modell-AGT ..... 9
2.4.2 Referenzgebinde eines AGT ..... 9
2.5 MIRAM-Datenbank ..... 11
2.5.1 Randbedingungen zur Ermittlung des Abfallinventars ..... 11
2.5.2 Herleitung der Produktionsstatistiken ..... 11
2.5.3 Berechnungsschema für das repräsentative Gebinde ..... 12
2.6 MIRAM-RBG Datensynthese ..... 12

**3 Kategorisierung der Abfälle ..... 13**
3.1 Kategorien nach KEV ..... 13
3.2 Kategorien nach Prozessschritt ..... 13
3.3 Kategorien nach Eigentümerschaft ..... 14
3.4 Kategorien nach Abfallherkunft ..... 15
3.5 Kategorien nach Rohabfall ..... 15
3.6 Kategorien nach Behältertyp ..... 15
3.7 Kategorien nach Endlagerbehälter ..... 16

**4 Methoden der Charakterisierung und Inventarisierung ..... 17**
4.1 Materialinventar ..... 17
4.2 Radiologisches Inventar ..... 17
4.2.1 Betriebsabfälle der Kernkraftwerke ..... 18
4.2.2 Stilllegungsabfälle der Kernkraftwerke ..... 19

4.2.3 Reaktorabfälle der Kernkraftwerke ... 25
4.2.4 Abgebrannte Brennelemente ... 27
4.2.5 Wiederaufarbeitungsabfälle ... 31
4.2.6 Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung ... 33
4.2.7 Abfälle des Zwilag und der OFA ... 35

**5 Behältertypen und Zusatzverpackungen ... 37**
5.1 Behältertypen ... 37
5.2 Zusatzverpackung für SMA/ATA ... 39
5.3 Zusatzverpackung für HAA ... 40

**6 Abfallsorten ... 43**
6.1 Systemübersicht ... 43
6.2 Abfallsortenreports ... 45
6.2.1 Grunddaten ... 45
6.2.2 Materialdaten ... 46
6.2.3 Radiologische Kenndaten ... 46
6.2.4 Zeitliche Entwicklung ... 46

**7 Auswertung MIRAM-RBG ... 47**
7.1 Abfallvolumen ... 47
7.2 Materialinventar ... 49
7.3 Aktivitätsinventar ... 50

**8 Literaturverzeichnis ... 57**

**Anhang A Konzept der Verpackung in Endlagerbehälter ... A-1**

**Anhang B Verzeichnis der Abfallsorten ... B-1**

**Anhang C Abfallsortenreports – ausgewählte Beispiele ... C-1**
C.1 Aufbau der Abfallsortenreports – BA-B-K-F2-SMA ... C-3
C.2 Abfallsortenreports – RA-G-MX-M2-SMA ... C-19
C.3 Abfallsortenreports – SA-L-B-L4-SMA ... C-29
C.4 Abfallsortenreports – WA-F-KG-K1-HAA ... C-37

**Anhang D MIRAM-RBG Materialinventar ... D-1**

**Anhang E MIRAM-RBG Nuklidinventar ... E-1**

# Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Betreiberkürzel für AGT in ISRAM ..... 8
Tab. 4-1: Anzahl und Typ der pro KKW berücksichtigten Brennelemente in MIRAM-RBG ..... 30
Tab. 4-2: Anzahl der Einzelgebinde mit Wiederaufarbeitungsabfällen, geordnet nach Abfallgebindetyp ..... 33
Tab. 6-1: Auflistung aller von MIRAM-RBG benutzten Kriterien und zugehörigen Kategorien in der Bildung der Abfallsorten (ohne Kategorie nach KEV, siehe dazu Kapitel 3.1) ..... 44
Tab. 7-1: Gesamtvolumen des Abfallinventars MIRAM-RBG ohne und mit Endlagerverpackung in $m^3$, aufgeschlüsselt nach KEV-Kategorie und Kategorie gemäss Eigentümerschaft ..... 47
Tab. 7-2: Gesamte Materialmasse von MIRAM-RBG in Tonnen, aufgeschlüsselt nach KEV-Kategorien und Materialart ..... 49
Tab. 7-3: Zusätzliche Materialmassen aus der Verpackung der Abfälle in Endlagerbehälter in Tonnen, aufgeschlüsselt nach KEV-Kategorien und Materialart ..... 49
Tab. 7-4: Summierte Aktivitäten des MIRAM-RBG-Abfallinventars in Bq zum Referenzjahr 2075 ..... 50

# Figurenverzeichnis

Fig. 2-1: Beispielhafter Aufbau eines Abfallgebindetyps ..... 6
Fig. 2-2: Schematischer Formularbaum, welcher den verschachtelten Aufbau eines AGT aus den einzelnen Unterkomponenten darstellt ..... 8
Fig. 2-3: Schrittweiser Aufbau der Datenbank MIRAM-RBG ..... 10
Fig. 4-1: Schema der Herleitung von Nuklidinventaren in Betriebsabfallgebinden ..... 19
Fig. 4-2: **A**dvanced **M**ethodology for **A**ctivation **C**haracterization (AMAC) (Nagra 2022) – Übersicht über die Methodik und die Sequenz der involvierten Arbeitsschritte ..... 22
Fig. 4-3: MOSAIK-Behälter im Brennelementbecken eines KKW sowie entsprechende, mit Reaktorabfallkomponenten gefüllte MOSAIK-Einsatzkörbe ..... 26
Fig. 4-4: Schematische Darstellung eines Brennstabs (Leichtwasserreaktoren), angepasste Figur aus Cacuci (2010) ..... 28
Fig. 4-5: Brennelemente für Druckwasser und Siedewasserreaktoren ..... 29
Fig. 4-6: Beispielhafte Zusammenstellung der Nutzung radioaktiver Materialien in Medizin, Industrie und Forschung ..... 34
Fig. 5-1: In der Schweiz verwendete Behältertypen ..... 38
Fig. 5-2: Verpackung von 12 Stück 200-l-Fässern in einem modellhaften LC-86H ..... 39

Fig. 5-3: Schematische Darstellung der Endlagerbehälter für maximal 12 SWR-BE und für maximal 4 DWR-BE ..... 41

Fig. 5-4: Schematische Darstellung der Endlagerbehälter für drei 180-l-Kokillen aus der Wiederaufarbeitung (KEV-Kategorie HAA) ..... 41

Fig. 7-1: Zeitliche Entwicklung der konditionierten und verpackten Volumina bis zum Referenzjahr 2075, aufgeschlüsselt nach Eigentümerschaft ..... 48

Fig. 7-2: Verlauf der aufsummierten Aktivität, aufgeschlüsselt nach KEV-Kategorie, vom Jahr der ersten Abfallproduktion bis zum Ende des Einlagerungsbetriebs 2075 und von 2075 bis 1 Mio. Jahre danach ..... 51

Fig. 7-3: Verlauf der aufsummierten Aktivität, aufgeschlüsselt nach Eigentümerschaft, vom Jahr der ersten Abfallproduktion bis zum Ende des Einlagerungsbetriebs 2075 und von 2075 bis 1 Mio. Jahre danach ..... 52

Fig. 7-4: Verlauf der aufsummierten Aktivität der schwach- und mittelaktiven Abfälle (KEV-Kategorie SMA), aufgeschlüsselt nach der Art der radioaktiven Strahlung, vom Jahr der ersten Abfallproduktion bis zum Ende des Einlagerungsbetriebs 2075 (oben) und von 2075 bis 1 Mio. Jahre danach ..... 53

Fig. 7-5: Verlauf der aufsummierten Aktivität der alphatoxischen Abfälle (KEV-Kategorie ATA), aufgeschlüsselt nach der Art der radioaktiven Strahlung, vom Jahr der ersten Abfallproduktion bis zum Ende des Einlagerungsbetriebs 2075 und von 2075 bis 1 Mio. Jahre danach ..... 54

Fig. 7-6: Verlauf der aufsummierten Aktivität der hochaktiven Abfälle (KEV-Kategorie HAA), aufgeschlüsselt nach der Art der radioaktiven Strahlung, vom Jahr der ersten Abfallproduktion bis zum Ende des Einlagerungsbetriebs 2075 und von 2075 bis 1 Mio. Jahre danach ..... 55

## Beilagenverzeichnis

Beilage 1 Sammlung der Abfallsortenreports von MIRAM-RBG

*Anmerkung: Nur in der digitalen Version dieses Berichtes (PDF) sind die Beilagen enthalten und unter dem Büroklammersymbol abgelegt.*

# Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| AGT | Abfallgebindetyp |
| AMAC | «**A**dvanced **M**ethodology for **A**ctivation **C**haracterization» |
| ATA | Alphatoxische Abfälle |
| BA | Betriebsabfälle |
| BAG | Bundesamt für Gesundheit |
| BE | Abgebrannte Brennelemente |
| BFE | Bundesamt für Energie |
| BEVA | BE/HAA(WA)-Verpackungsanlage |
| BZL | Bundeszwischenlager für Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung |
| ELB | Endlagerbehälter |
| ENSI | Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat |
| EP21 | Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen |
| gTL | Geologische(s) Tiefenlager |
| HAA | Hochaktive Abfälle (abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung) |
| IZD | Individuelle Zusatzdokumentation |
| KEG | Kernenergiegesetz |
| KEV | Kernenergieverordnung |
| KKB | Kernkraftwerk Beznau |
| KKG | Kernkraftwerk Gösgen |
| KKL | Kernkraftwerk Leibstadt |
| KKM | Kernkraftwerk Mühleberg |
| KKW | Kernkraftwerk |
| KS21 | Kostenstudie 2021 |
| MIF | Radioaktive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung |
| MIRAM | Modellhaftes Inventar radioaktiver Materialien |
| NAB | Nagra Arbeitsbericht |
| NTB | Nagra Technischer Bericht |
| OFA | Oberflächenanlage, hier inklusive der Verpackungsanlagen am Zwilag |
| PSI | Paul Scherrer Institut |
| RA | Reaktorabfälle |
| RBG | Rahmenbewilligungsgesuch |

| | |
|---|---|
| SA | Stilllegungsabfälle |
| SGT | Sachplan geologische Tiefenlager |
| SMA | Schwach- und mittelaktive Abfälle |
| TLB | Transport- und Lagerbehälter (insbesondere für Brennelemente) |
| TLB-BHA | Behandlungsanlage für Transport- und Lagerbehälter |
| VA | Verpackungsanlage |
| WA | Abfälle aus der Wiederaufarbeitung |
| WA-HAA | Hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung |
| ZDB | Zentrale Datenbewirtschaftung |
| Zwilag | Zwischenlager Würenlingen |

# 1 Einleitung

## 1.1 MIRAM-RBG

MIRAM («**M**odellhaftes **I**nventar **ra**dioaktiver **M**aterialien») ist eine speziell für die Zwecke der Nagra entwickelte Datenbank zur Verwaltung, radiologischen Berechnung und automatisierten Auswertung aller heute vorhandenen und in Zukunft anfallenden radioaktiven Abfälle [1] der Schweiz.

Auf Basis des schweizerischen Kernenergiegesetzes (KEG 2003) und nachgeordneter Verordnungen wie der Kernenergieverordnung (KEV 2004) und der Strahlenschutzverordnung (StSV 2017) wird definiert, unter welchen Voraussetzungen Stoffe als radioaktiver Abfall zu betrachten sind und wie mit ihnen umzugehen ist. Die bereits vorhandenen und zukünftig anfallenden radioaktiven Abfälle der Schweiz stammen aus:

- dem Betrieb und der nachfolgenden Stilllegung der Standorte der fünf schweizerischen Kernkraftwerke, inkl. der abgebrannten Brennelemente (BE) bzw. der aus ihrer Wiederaufarbeitung rückgeführten Abfälle
- dem Betrieb und der zukünftigen Stilllegung des zentralen Zwischenlagers Würenlingen (Zwilag)
- Medizin, Industrie und Forschung (MIF) (inklusive der Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung entsprechender Anlagen)
- dem zukünftigen Betrieb der Verpackungsanlagen und des geologischen Tiefenlagers sowie der anschliessenden Stilllegung dieser Anlagen (OFA)

MIRAM umfasst sowohl reale Abfälle als auch Modell-Abfälle. Reale Abfälle sind Abfälle, die einem durch einen Entsorgungspflichtigen spezifizierten Abfallgebindetypen (AGT) zugewiesen wurden, für den eine Typengenehmigung durch das ENSI vorliegt oder eine solche beantragt ist. Die einzelnen Abfallgebinde, die einer Spezifikation unterliegen, werden Einzelgebinde genannt. Die Produktion von Einzelgebinden realer AGT ist möglich bzw. hat für die Mehrheit der realen AGT bereits stattgefunden. Die Informationen zu diesen existierenden Abfallgebinden werden durch die Entsorgungspflichtigen in eigenen Datenbanken archiviert.

Im Gegensatz zu den realen Abfällen werden modellhafte Abfälle von der Nagra definiert, um zukünftig erwartete Abfälle, wie z. B. die aus der Stilllegung der schweizerischen Kernkraftwerke, zu beschreiben. Für die Beschreibung wird der AGT-Formalismus der realen Abfälle benutzt, um sogenannte Modell-AGT festzulegen. Modell-AGT sind AGT, die nach aktuellem Ermessen so oder in ähnlicher Form für die tiefenlagergerechte Konditionierung der zukünftigen Abfälle eingesetzt werden. Die Definition der Modell-AGT basiert auf Informationen der Entsorgungspflichtigen, Analogien zu realen AGT, Modellrechnungen[2] und weiteren verfügbaren Informationen.

---

[1] In diesem Kontext werden im vorliegenden Bericht abgebrannte Brennelemente ebenfalls als Abfälle betrachtet.

[2] Z. B. die Bestimmung des Nuklidinventars durch Aktivierungsrechnungen für Reaktorkomponenten.

Die Informationen zu den bereits existierenden Abfallgebinden aus den werksspezifischen Datenbanken werden durch die Nagra in einer einzigen Datenbank zusammengefasst und in der Regel jährlich aktualisiert. Diese Datenbank liegt MIRAM zugrunde. Bei der Aktualisierung werden z. B. die vorjährigen Prognosen zur Anzahl und Art der Abfälle, durch die im jeweiligen Jahr tatsächlich produzierten Abfallgebinde ersetzt. Neue Erkenntnisse (z. B. durch weiterentwickelte Berechnungsverfahren) und sich verändernde Annahmen (z. B. zur Betriebsdauer der Kernkraftwerke) und Randbedingungen können ebenfalls zu Anpassungen bei den Abfallmengen und den Material- und Nuklidinventaren in MIRAM führen.

MIRAM stellt die Basis dar für die Planung und Realisierung des geologischen Tiefenlagers für die radioaktiven Abfälle inklusive der Verpackungs- und Oberflächenanlagen. Ferner dient es als Grundlage für die sicherheitsanalytischen Betrachtungen, insbesondere die Analysen zur Langzeitsicherheit.

MIRAM wird innerhalb der jeweiligen Randbedingungen stetig weiterentwickelt und verfeinert. Dabei fliessen die sich entwickelnden Planungsannahmen und Kenntnis der bereits vorhandenen radioaktiven Abfälle ein. Für wichtige Meilensteine wird die Datenbank konsolidiert, eingefroren und dokumentiert. Das MIRAM-RBG ist der gegenwärtige Stand des sich stetig weiterentwickelnden MIRAM. Der Stand MIRAM-RBG wurde speziell für das Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) für das geologische Tiefenlager, insbesondere als eine Basis der Betrachtungen zur Langzeitsicherheit erstellt. Die Datenbasis und die Beschreibung der eingeflossenen Annahmen und Randbedingungen in Form dieses Berichtes sind Bestandteil des RBG. Die Randbedingungen entsprechen zu einem grossen Teil denen des Entsorgungsprogramms 21. Eine wesentliche Änderung gegenüber dem Entsorgungsprogramm 21 ergibt sich aus dem Vorschlag, die Verpackungsanlagen am Standort der Zwilag zu planen. MIRAM-RBG beschreibt hinsichtlich der Abfallmengen, Material und Nuklidinventare ein nach bestem Wissen realistisch abgeschätztes Inventar radioaktiver Abfälle. Für das Nuklidinventar werden zusätzlich die Ungewissheiten ausgewiesen. Für Analysen, die auf konservativen Daten beruhen, werden je nach Bedarf separate Abschätzungen getroffen und in den jeweiligen Berichten dokumentiert.

In MIRAM-RBG ist der Bestand der effektiv produzierten (d. h. endlagergerecht konditionierten) radioaktiven Abfälle in der Schweiz per 31.12.2019 erfasst. Alle Angaben in MIRAM-RBG zu den nach diesem Zeitpunkt angefallenen bzw. anfallenden Abfällen basieren auf einer Prognose, bei welcher die Abfälle modellhaft nach aktuellem Wissensstand charakterisiert und quantifiziert werden (Modell-AGT bzw. Prognose der Gebindeproduktion für reale AGT).

Der Bericht ist folgendermassen aufgebaut: Kapitel 2 erläutert das Konzept zur Erstellung der MIRAM-Datenbasis und umfasst eine Beschreibung der diesen Arbeiten zugrunde liegenden Systematik. Die Kategorisierung der in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle nach den wichtigsten unterschiedlichen Kriterien, die im Laufe nachfolgender Auswertungen verwendet werden, wird im Kapitel 3 erläutert.

Einzelne dieser Kategorisierungen werden aufgegriffen in der Beschreibung der Methoden der Charakterisierung und Inventarisierung der radioaktiven Materialien (Kapitel 4), in der Beschreibung der Behältertypen und Zusatzverpackungen von Abfallgebinden (Kapitel 5) und in der Definition der sogenannten Abfallsorten. Auf den Abfallsorten basieren auch die Abfallsortenreports, die eine benutzerfreundliche Übersicht über die spezifischen Inhalte der Datenbank sowie eine Klassifizierung derselben ermöglichen (Kapitel 6). In Kapitel 7 werden ausgewählte Auswertungen des Datenbestands von MIRAM-RBG, i. W. die über den betrachteten Zeitraum akkumulierten Gesamtinventare für das geologische Tiefenlager, dargestellt.

## 1.2 Weiterentwicklung seit MIRAM 14

Wie oben erwähnt, entwickelt sich die MIRAM-Datenbasis stets weiter und wird für wichtige Meilensteine als «Momentaufnahme» konsolidiert, eingefroren und dokumentiert. Die letzte dieser Momentaufnahmen war MIRAM 14, welches die Datenbasis des radioaktiven Abfallinventars für die Etappe 2 des Sachplanverfahrens darstellte (Nagra 2014).

Weiterentwicklung gab es sowohl beim Kenntnisstand zu den radioaktiven Abfällen, vor allem den prognostizierten, zukünftig anfallenden Abfällen als auch beim Stand von Wissenschaft und Technik (auch hier ist insbesondere die Entwicklung zur Prognose der Stilllegungsabfälle der Kernkraftwerke relevant). Darüber hinaus gab es auch konzeptuelle Entwicklungen hinsichtlich relevanter Randbedingungen, z. B. zu berücksichtigten Endlagerbehältern.

Soweit möglich und sinnvoll stimmen die Datengrundlagen in MIRAM 14 und MIRAM-RBG überein. Das betrifft z. B. die durch die Abfallverursacher deklarierten Informationen zu den bereits produzierten Abfallgebinden. In MIRAM 14 ist der Bestand der effektiv produzierten (d.h. endlagergerecht konditionierten) radioaktiven Abfälle in der Schweiz per 31.12.2013 berücksichtigt. Dieser wird so auch in MIRAM-RBG berücksichtigt.

Unterschiede im Kenntnisstand ergeben sich z. B. durch die Daten zu den seit MIRAM 14 neu produzierten Abfallgebinden, die nun nicht mehr als Prognose mit angenommenen Eigenschaften, sondern mit ihren konkreten, durch die Abfallverursacher deklarierten Eigenschaften berücksichtigt werden. Das gilt auch für die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung, die inzwischen vollständig in die Schweiz zurückgeliefert wurden. Des Weiteren wurden die Abfälle des CERN, welche in der Schweiz entsorgt werden sollen, weiter konkretisiert.

Änderungen im Stand von Wissenschaft und Technik sind z. B. die Anwendung neuer Werkzeuge zur Charakterisierung und Verpackungsplanung der Abfälle aus der Stilllegung der schweizerischen KKW (AMAC, siehe Kapitel 4.2.2). Auch die Berechnungen zum radiologischen Inventar der abgebrannten Brennelemente wurde gegenüber MIRAM 14 aktualisiert, dabei wurde der Bestand abgebrannter Brennelemente und die Prognose detailliert (Anzahl, Abbrand etc.) berücksichtigt.

Eine relevante konzeptuelle Änderung ist die Wahl des Standorts für die Verpackungsanlagen sowie deren Konkretisierung in der Planung, die eine genauere Abschätzung der Art und Menge der aus dem Betrieb der Verpackungsanlagen resultierenden Abfälle zulässt. Ein weniger offensichtliches Beispiel ist die Art der Endlagerbehälter aus Beton, die zur zusätzlichen Verpackung kleinerer Einzelgebinde für die Verbringung in das Tiefenlager vorgesehen sind. Anstelle modellhafter Behälter, wie sie für MIRAM 14 angenommen wurden, kann nun auf die seither entwickelten und produzierten Behältertypen abgestützt werden.

Eine weitere wichtige Änderung für die Gesamtinterpretation der Daten des MIRAM-RBG ergibt sich aus der Anforderung, für die Langzeitsicherheitsanalysen im Rahmen des RBG ein nach bestem Wissen realistisch abgeschätztes Material- und Nuklidinventar zur Verfügung zu stellen. Dazu gehört auch die Angabe der Ungewissheiten des Nuklidinventars.

Die veränderten Randbedingungen und Annahmen im Vergleich zu MIRAM-14 und die stetige Weiterentwicklung der Datenbasis unter Berücksichtigung neuer Erkenntnisse zu den Abfällen bedingen im Detail veränderte Kennzahlen.

Wesentliche summarische Kennzahlen, wie sie in Kapitel 7 dargestellt und ähnlich auch im Bericht zu MIRAM 14 zu finden sind, sind jedoch in der Grössenordnung vergleichbar. Dies zeigt, dass das Inventar der schweizerischen radioaktiven Abfälle in MIRAM-RBG (so wie zuvor auch MIRAM 14) insgesamt verlässlich abgebildet wird.

# 2 Konzept der MIRAM-Datenbasis

Dieses Kapitel erläutert das Konzept der MIRAM-Datenbasis und gibt eine Übersicht über die einzelnen Schritte, die zur Erstellung eines modellhaften Inventars radioaktiver Materialien, hier MIRAM-RBG, führen.

## 2.1 ISRAM der Abfallproduzenten

Die Grundlage für MIRAM bildet das sogenannte «**I**nformations**S**ystem für **RA**dioaktive **M**aterialien», ISRAM. ISRAM ist ebenfalls eine Datenbank zur Verwaltung von radioaktiven Abfällen. Im Unterschied zu MIRAM ist ISRAM primär auf die Bedürfnisse der Abfallproduzenten und -eigentümer ausgerichtet. So sind zum Beispiel – neben den Informationen zu den Gebinden radioaktiven Abfalls – Angaben zu Transportprozessen, Zwischenlagerpositionsangaben und -bilanzen und ENSI-Berichterstattungen enthalten. Zudem wird jedes einzelne Abfallgebinde mit einer «Individuellen Zusatzdokumentation» (IZD) versehen, die spezifische Zusatzinformationen über das einzelne Abfallgebinde enthält.

Jeder Abfallproduzent und -eigentümer verwendet sein eigenes ISRAM-System zur Verwaltung der eigenen radioaktiven Abfälle[3]. Jedoch sind der strukturelle Aufbau sowie die wesentlichen Bestandteile in jedem ISRAM gleich. Hauptbestandteile der ISRAM-Datenbankstruktur sind die «Einzelgebinde» und der übergeordnete «Abfallgebindetyp».

## 2.2 Abfallgebindetyp

### 2.2.1 Definition

Entsprechend der ENSI-Richtlinie B05 (ENSI 2007) sind Rohabfälle für die Zwischenlagerung und spätere geologische Tiefenlagerung vorzubereiten. Dieser Prozess wird Konditionierung genannt. Die Konditionierung kann in zwei Gruppen von Abläufen aufgeteilt werden (ENSI 2021):

- die Abfallbehandlung, wie z. B. eine mechanische Zerkleinerung von metallischen Komponenten oder die Einbettung von Harzen aus der Wasseraufbereitung in einer Zementmatrix, und
- die Verpackung in einen geeigneten Behälter

Bei gewissen Abfällen können ergänzende Massnahmen erforderlich sein, wie eine Vorverpackung von Rohabfällen oder die Einbringung von zusätzlichem Füllmaterial zur Verfüllung von Hohlräumen, falls die anfängliche Abfallbehandlung dies nicht schon gewährleistet. Bei hohen Dosisleistungen kann ein zusätzlicher Abschirmbehälter zum Einsatz kommen. Das fertige Produkt der Konditionierung wird Abfallgebinde oder auch Einzelgebinde genannt und ist modellhaft in Fig. 2-1 abgebildet.

Im Allgemeinen müssen vor der Einführung von neuartigen Abfallgebinden sogenannte Abfallgebindetypen (AGT) durch den Abfallproduzenten definiert werden. Diese beschreiben im Detail die relevanten Charakteristika zukünftig produzierter Rohabfälle, d. h. deren chemische und radiologische Eigenschaften sowie den Abfallgebindeaufbau nach erfolgter Konditionierung des

[3] Das CERN verwaltet sein gesamtes Inventar, inkl. der Abfälle, welche nicht in der Schweiz entsorgt werden, in einem eigenen, von ISRAM unabhängigen System. Die Abfälle aus BAG-Sammelaktionen und die an den Bund übergebenen Abfälle des CERN werden im ISRAM-PSI erfasst und verwaltet.

Rohabfalls im gewählten Abfallbehälter. Ein AGT beschreibt somit übergeordnet eine i. Allg. grössere Anzahl von Einzelgebinden mit identischen Gebindekomponenten und chemisch/radiologisch ähnlichen Eigenschaften. Somit kann eine übersichtliche und nachvollziehbare Einteilung der diversen Abfälle erreicht und zudem für jeden Abfallgebindetyp eine einheitliche Beschreibung formuliert werden. Die Einzelgebinde innerhalb eines AGT unterscheiden sich definitionsgemäss nur in einigen vorbestimmten Eigenschaften voneinander, und in diesen auch nur in einem bestimmten, vorab spezifizierten Bereich.

Nach der Definition eines Abfallgebindetyps innerhalb einer sogenannten AGT-Spezifikation wird diese vom Abfallproduzenten bei der Nagra zur Prüfung auf Endlagerfähigkeit eingereicht. Erst nach erfolgreicher Endlagerfähigkeitsbeurteilung (ELFB) durch die Nagra und anschliessender Genehmigung des AGT durch das ENSI dürfen Abfallgebinde gemäss ihrer Spezifikation produziert werden. Dabei wird jedes produzierte Einzelgebinde zusätzlich mittels seiner individuellen Zusatzdokumentation (IZD) beschrieben.

Das Anlegen der AGT-Struktur und die darin enthaltenen AGT-Daten sowie die Erfassung der entsprechenden Einzelgebindedaten erfolgen in ISRAM. Diese stehen danach zur Verfügung.

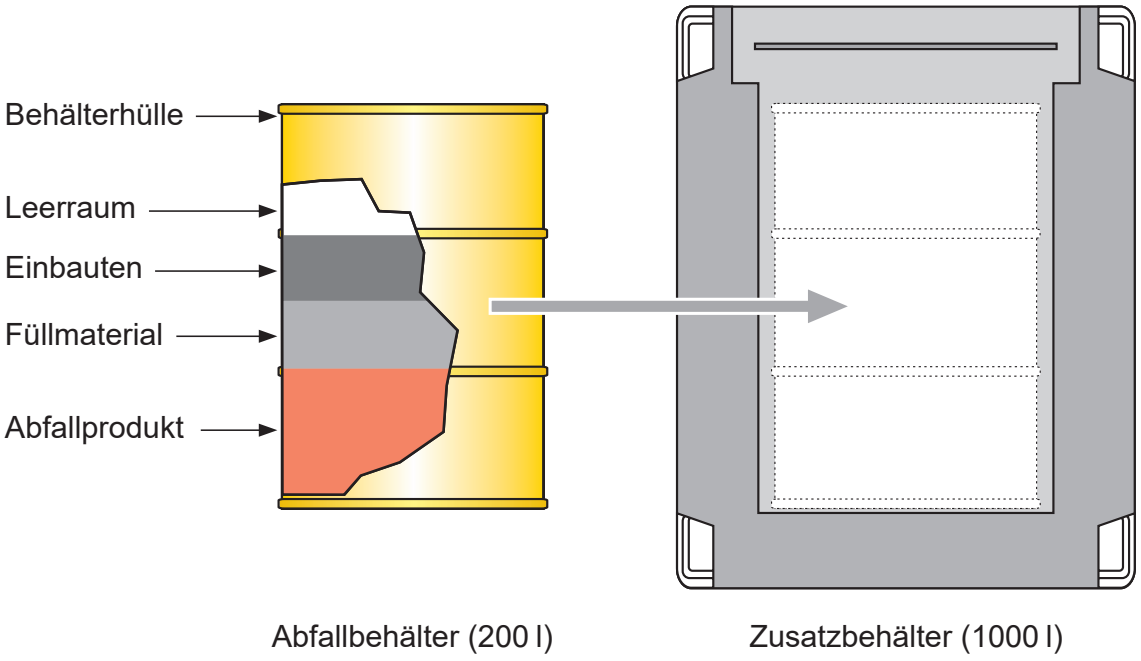



Fig. 2-1: Beispielhafter Aufbau eines Abfallgebindetyps

Als Behälterhülle dient hier ein 200-l-Fass, welches mit den entsprechenden Volumina von Abfallprodukt, Füllmaterial, Einbauten und Leerraum gefüllt wird, sodass die Summe der einzelnen Volumina dem Leervolumen des Fasses entspricht. Das Fass wird hier in einen 1000-l-Zusatzbehälter eingesetzt.

### 2.2.2 Eigenschaften und Aufbau eines Abfallgebindetypen

Die Struktur eines Abfallgebindetypen ist in der ENSI-Richtlinie B05 (ENSI 2007) festgelegt und wird durch eine verschachtelte Formularstruktur in ISRAM abgebildet. Die Formularstruktur beschreibt modular die verschiedenen Gebindekomponenten. Jede Komponente wird in ISRAM durch ein sogenanntes ISRAM-Formular beschrieben, in dem z. B. Dimensionen, Massen- und Volumenangaben, Materialzusammensetzungen und radiologische Kenndaten sowie weitere wichtige Eigenschaften erfasst sind. Es existieren Formulare für folgende Komponenten:

- Formular(e) A: Rohabfall [4]
- Formular(e) B: Zusatzstoffe
- Formular(e) C: Abfallprodukt; wird aus einer Kombination von A-Formular(en) und B-Formular(en) gebildet
- Formular D: Behälterhülle
- Formular(e) E: Füllmaterialien
- Formular(e) F: Einbauten
- Formular(e) G: Leerraum
- Formular H: Gefüllter Abfallbehälter; wird aus einer Kombination von C-, D-, E-, F- und G-Formularen gebildet.
- Formular I: Optionaler Zusatzbehälter; bestehend aus einem zweiten Satz von Formularen D bis G (ohne C, da kein zusätzlicher radioaktiver Abfall eingeführt wird)
- Formular J: Gebindetyp; hierarchisch höchstes Formular, welches aus einem H-Formular und optional einem I-Formular gebildet wird; zusätzlich wird im Formular J die notwendige Dokumentationsstruktur (IZD-Format) für die zugehörigen Einzelgebinde festgelegt

Alle Abfallgebindetypen sind modular aus den Formularen A bis I aufgebaut. Die Zusammenführung der einzelnen Formulare zu einem kompletten Abfallgebindetyp ist in Fig. 2-2 schematisch als Formularbaum dargestellt. Identische Unterformulare können so in unterschiedlichen AGT verwendet werden und müssen in der Datenbank nicht erneut erfasst werden. Beispielsweise kann ein und derselbe Typ eines 200-l-Fasses für die Verpackung verschiedener Abfälle verwendet werden. Dieses Vorgehen ermöglicht eine schlanke Datenstruktur und gleichzeitig eine effiziente Erfassung und Datenpflege der radioaktiven Abfälle.

[4] Der Begriff «Rohabfall» kann sich sowohl auf effektive Rohabfälle als auch auf Zwischenprodukte beziehen, welche aus deren Vorbehandlung resultieren (z. B. Aschen als Ergebnis der Verbrennung brennbarer Rohabfälle).

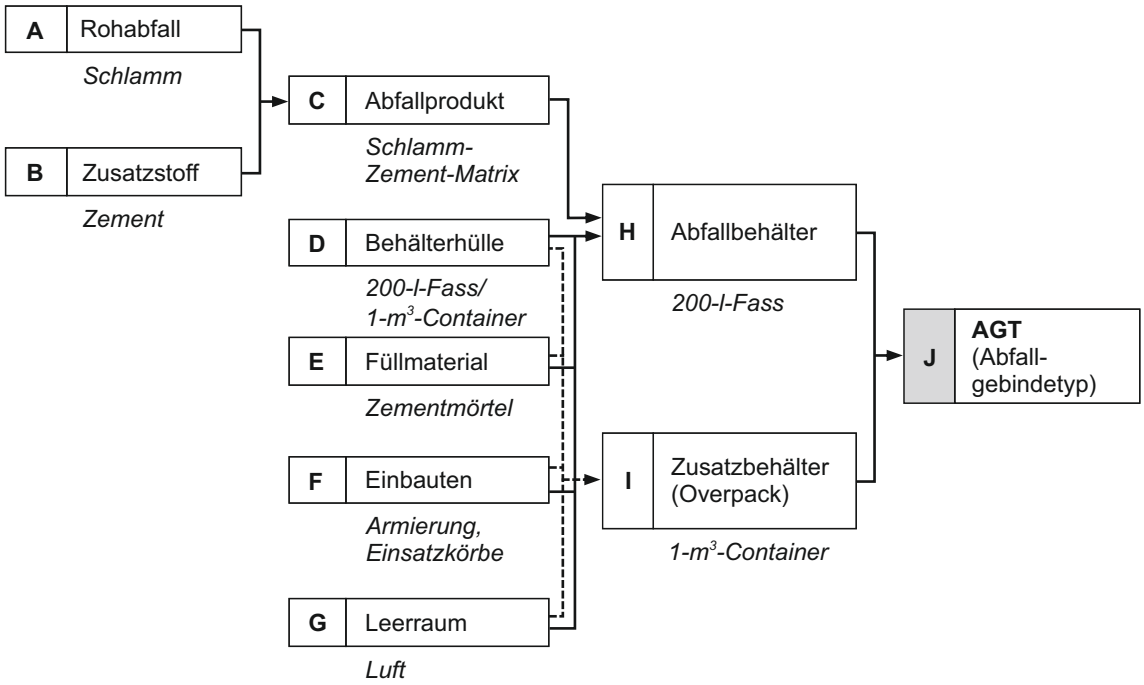



Fig. 2-2: Schematischer Formularbaum, welcher den verschachtelten Aufbau eines AGT aus den einzelnen Unterkomponenten darstellt

Das Abfallprodukt C entsteht aus einer Zusammenführung des Formulars A und einem optionalen Formular B. Anschliessend ergibt sich der gefüllte Abfallbehälter H aus der Zusammenführung von Formularen C, D, E, F und G. Ein optionaler Zusatzbehälter kann mit seinem eigenen Satz von Formularen D bis G definiert werden. Die Zusammenführung des H-Formulars mit dem optionalen I-Formular ergibt dann den finalen AGT in Form des J-Formulars. Für die Unterformulare sind entsprechende Beispiele angegeben.

Jedes Formular erhält in ISRAM eine eindeutige Kennung, die aus dem Formular-Buchstaben, einem Buchstaben für den jeweiligen Betreiber und einem sechsstelligen Zifferncode besteht. So hat z. B. ein AGT des Kernkraftwerks Beznau die Kennung «J-B-xxxxxx(y)» (x = Ziffer zwischen 0 und 9, y = optionaler Zusatz in Form einer Ziffer zwischen 0 und 9 oder eines Buchstabens). Die existierenden Betreiberkürzel sind in Tab. 2-1 zusammengefasst.

Tab. 2-1: Betreiberkürzel für AGT in ISRAM

| ISRAM-Betreiber | AGT |
|---|---|
| KKB | J-B-xxxxxx(y) |
| KKG | J-G-xxxxxx(y) |
| KKL | J-L-xxxxxx(y) |
| KKM | J-M-xxxxxx(y) |
| ZWILAG | J-Z-xxxxxx(y) |
| PSI | J-P-xxxxxx(y) |

## 2.3 ISRAM-ZDB

Die Nagra bewirtschaftet eine zentrale ISRAM-Datenbank, auch genannt ISRAM-ZDB (**Z**entrale **D**aten**b**ewirtschaftung), in der die Abfallgebindetypen und Einzelgebindedaten aus den vorgenannten, individuellen ISRAM-Datenbanken der Betreiber enthalten sind. Über Export-/ Import-Funktionen werden die Daten aus der zentralen Datenbank mit denen der dezentralen ISRAM-Datenbanken abgeglichen. Dieser Abgleich erfolgt nach Bedarf, mindestens aber einmal jährlich. Somit besitzt die Nagra eine komplette Zusammenstellung aller jährlich aktualisierten Einzelgebindebestände aller Abfallproduzenten.

## 2.4 ISRAM-Nagra

ISRAM-Nagra ist eine auf die Bedürfnisse der Nagra ausgerichtete Datenbank, speziell hinsichtlich der Planung des geologischen Tiefenlagers. Enthalten sind alle als endlagerfähig beurteilten Abfallgebindetypen aus der zentralen ISRAM-Datenbank ISRAM-ZDB und zusätzliche, von der Nagra erstellte, modellhafte Abfallgebindetypen für in der Zukunft erwartete Abfälle (Kapitel 2.4.1). Aufgrund des spezifischen Fokus von ISRAM-Nagra im Vergleich zur zentralen ISRAM-Datenbank ISRAM-ZDB enthält ISRAM-Nagra nur AGT-spezifische Datensätze und keine Informationen zu den Einzelgebinden.

### 2.4.1 Modell-AGT

Modell-AGT sind von der Nagra definierte Abfallgebindetypen für zukünftig erwartete Abfälle. Der AGT-Aufbau erfolgt analog der in ISRAM vorhandenen modularen Struktur über die Formulare A bis J (siehe Fig. 2-2). Die Ableitung der AGT-Daten der Modell-AGT erfolgt durch die Nagra auf Basis der Kenntnis zu existierenden vergleichbaren Abfällen sowie Abschätzungen und Berechnungen der Abfallproduzenten oder der Nagra hinsichtlich der Produktionsprognosen und der zu erwartenden Abfallcharakteristika.

### 2.4.2 Referenzgebinde eines AGT

In ISRAM-Nagra wird stellvertretend für die Einzelgebindedaten das Referenzgebinde eingeführt. Ein Referenzgebinde ist ein (hypothetisches) Einzelgebinde mit gemittelten Eigenschaften aller real existierenden und ggf. in Zukunft prognostizierten Einzelgebinde eines bestimmten Abfallgebindetyps. Es kann also als idealisiertes stellvertretendes Einzelgebinde eines AGT aufgefasst werden. Die Eigenschaften des Referenzgebindes beziehen sich stets auf den Produktionszeitpunkt des Gebindes. Dies ist insbesondere wichtig für die radiologischen Eigenschaften. Dadurch wird sichergestellt, dass die Charakteristika des Referenzgebindes unabhängig vom Produktionsjahr sind. Sowohl für existierende Abfallgebindetypen mit bestätigter Endlagerfähigkeit als auch für Modell-AGT werden diese Referenzgebinde in ISRAM-Nagra definiert.

Im Fall von existierenden Abfallgebindetypen werden in ISRAM-Nagra die in den ursprünglich von den Abfallproduzenten erstellten Formularen hinterlegten Materialinformationen mithilfe von Standardmaterialien harmonisiert. Nuklidinventare werden nötigenfalls komplettiert. Des Weiteren werden zusätzliche Parameter ergänzt, die für die Projektierung, sicherheitstechnische Auslegung und Langzeitsicherheitsanalysen des geologischen Tiefenlagers benötigt werden, insbesondere die Oberflächen-zu-Massen-Verhältnisse von korrosionssensitiven Komponenten.

Die Methoden zur Herleitung der Referenzgebindeeigenschaften werden in Kapitel 4 detailliert beschrieben. Der Ablauf der Referenzgebindedefinition in ISRAM-Nagra mithilfe von Daten aus ISRAM-ZDB und modellhaften Herleitungen der Nagra ist schematisch in Fig. 2-3 zusammengefasst.

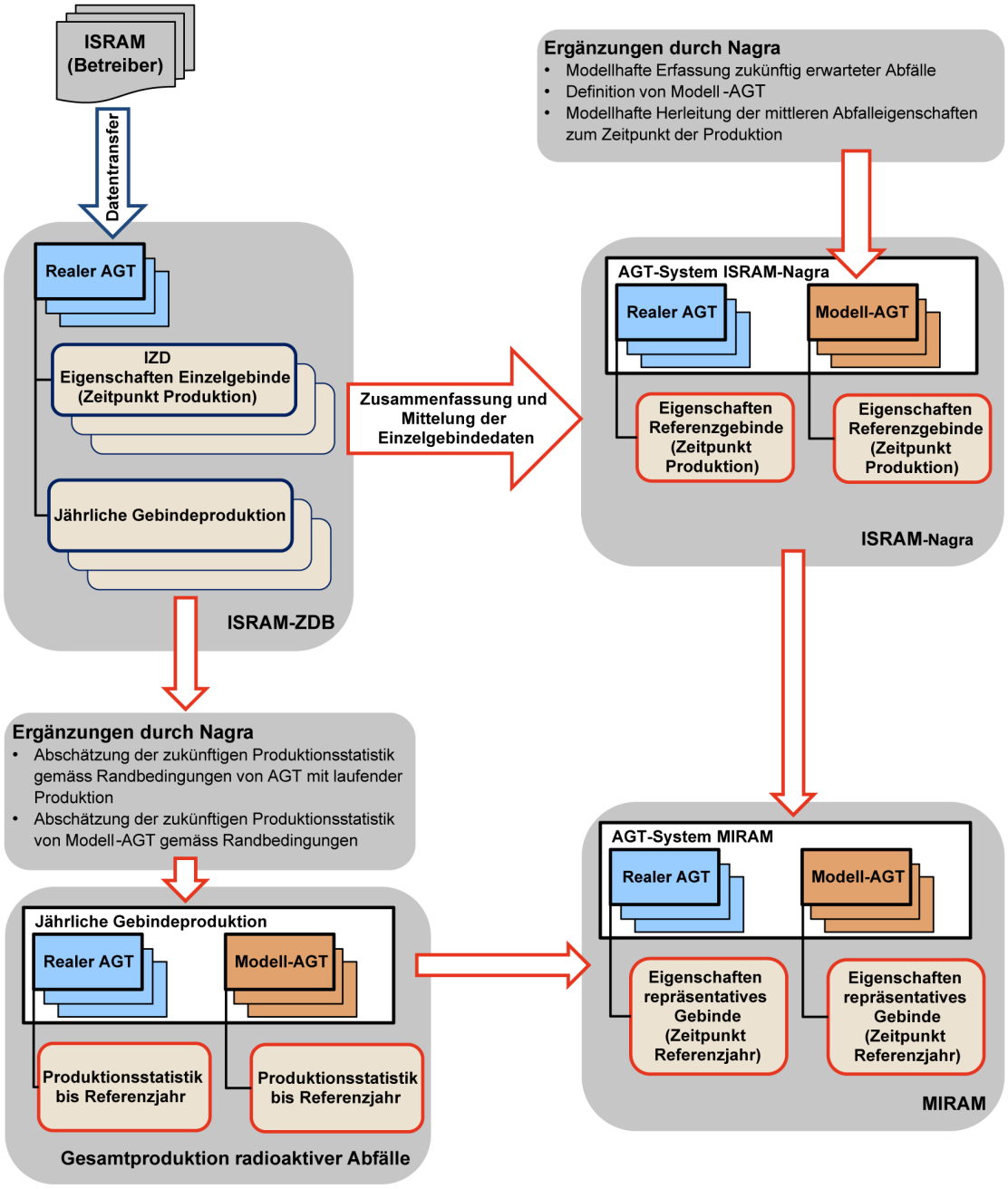



Fig. 2-3: Schrittweiser Aufbau der Datenbank MIRAM-RBG

Mithilfe der Informationen zu realen AGT aus ISRAM-ZDB und zusätzlichen Modell-AGT wird in ISRAM-Nagra ein abdeckender Satz von Referenzgebinden definiert, welcher die mittleren Eigenschaften der Abfälle zum Zeitpunkt ihrer Produktion beschreibt. Aus der Verknüpfung der Informationen der Referenzgebinde mit einer Statistik und Prognose der Gebindeproduktion der einzelnen Referenzgebinde resultiert die Datenbank MIRAM-RBG, welche das Gesamtinventar zum Zeitpunkt eines ausgewählten Referenzjahres in Form von repräsentativen Gebinden beschreibt.

## 2.5 MIRAM-Datenbank

Im «**M**odellhaften **I**nventar **ra**dioaktiver **M**aterialien» – MIRAM werden die in ISRAM-Nagra hinterlegten, zeitunabhängigen Referenzgebindedaten mit Produktionsdaten verknüpft (Kapitel 2.5.2). Als Grundlage für die Analysen der Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers werden für alle Abfallgebindetypen repräsentative Gebinde berechnet. Diese geben im Unterschied zu den vorgenannten Referenzgebinden aus ISRAM-Nagra nicht die mittleren Eigenschaften der AGT für den Produktionszeitpunkt, sondern für ein allen AGT gemeinsames Bezugsjahr, dem sogenannten Referenzjahr, wieder (Kapitel 2.5.3).

### 2.5.1 Randbedingungen zur Ermittlung des Abfallinventars

Im Entsorgungsprogramm 2021 (Nagra 2021) sind die angesetzten Randbedingungen insbesondere in Hinblick auf die Ermittlung der Abfallmengen ausführlich beschrieben. Bis auf den veränderten geplanten Standort der Verpackungsanlagen, werden die gleichen Randbedingungen im Wesentlichen auch der vollständigen Beschreibung des Abfallinventars MIRAM-RBG zugrunde gelegt. Die wichtigsten Randbedingungen (d. h. Planungsannahmen, es werden keine Vorfestlegungen getroffen) können wie folgt zusammengefasst werden:

- Für die bestehenden Kernkraftwerke KKB, KKG und KKL wird eine 60-jährige Betriebszeit unterstellt; KKM hat im Jahr 2019 den 47-jährigen Leistungsbetrieb eingestellt.
- Schwach- und mittelaktive Abfälle werden im Zeitraum von 2050 bis 2064 eingelagert, hochaktive Abfälle im Zeitraum von 2060 bis 2074.
- Der Anfall und die Sammlung der MIF-Abfälle wird bis 2064 (Ende Einlagerungsbetrieb im Lagerteil für schwach- und mittelaktive Abfälle) berücksichtigt.
- Die Verpackungsanlagen für die endlagergerechte Verpackung der Abfälle (siehe Kapitel 5) befinden sich am Standort der Zwilag.[5]
- Die Option einer Abklinglagerung radioaktiver Abfälle, die innerhalb von 30 Jahren nach dem Ende ihrer ursprünglichen Verwendung freigemessen oder verwertet werden könnten, wird gemäss Art. 117 der StSV 2017 berücksichtigt.

### 2.5.2 Herleitung der Produktionsstatistiken

Die in MIRAM enthaltenen AGT-Produktionsstatistiken bestehen aus zwei Teilen. Die bereits angefallene jährliche Einzelgebinde-Produktion für Abfallgebindetypen mit Endlagerfähigkeitsbescheinigung wird in der Regel aus der zentralen ISRAM-Datenbank ISRAM-ZDB übernommen. Für MIRAM-RBG werden hierfür sämtliche Produktionszahlen bis zum Stichtag 31.12.2019 berücksichtigt. Der künftige Gebindeanfall der existierenden Abfallgebindetypen und der Modell-AGT wird mittels entsprechender Produktionsprognosen abgeschätzt.

Diese Produktionsprognosen werden, unter Berücksichtigung der in Kapitel 2.5.1 erwähnten Randbedingungen, in Zusammenarbeit mit den Abfallproduzenten aus Erfahrungswerten (z. B. über vorliegende Produktionsstatistiken von Betriebsabfällen der KKW) sowie aus entsprechenden Studien (z. B. Stilllegungsstudien zu den schweizerischen KKW) hergeleitet.

[5] Im Entsorgungsprogramm 2021 (Nagra 2021) war der Entscheid hierzu noch offen.

### 2.5.3 Berechnungsschema für das repräsentative Gebinde

Durch den radioaktiven Zerfall und den zeitlich verteilten Anfall der Einzelgebinde sind alle damit verknüpften radiologischen Kenndaten zeitabhängig. Deshalb bietet es sich an, die Analysen der Langzeitsicherheit durch die Definition des sogenannten repräsentativen Gebindes zu vereinfachen.

Für jeden Abfallgebindetyp wird ein repräsentatives Gebinde ermittelt, welches die mittleren Eigenschaften der Einzelgebinde des AGT zu einem bestimmten absoluten Referenzzeitpunkt darstellt[6].

Die Behälterkonfiguration und das Material des repräsentativen Gebindes ist identisch zu dem des Referenzgebindes. Das Nuklidinventar des repräsentativen Gebindes wird aus der Kopplung des Nuklidinventars des Referenzgebindes mit der zugehörigen AGT-Produktionsstatistik hergeleitet. Hierbei wird der totale AGT-Aktivitätsverlauf, der sich aus den jährlich neu hinzukommenden Abfällen sowie der Zerfallskorrektur des schon bestehenden Inventars ergibt, berechnet: Das Nuklidinventar des Referenzgebindes wird jeweils mit der Anzahl der in dem entsprechendem Bezugsjahr produzierten Gebinde multipliziert und anschliessend – unter Berücksichtigung des nuklidabhängigen Zerfalls – zu dem summierten Inventar aller vorangegangenen Produktionsjahre addiert. Somit kann das Gesamt-Nuklidinventar eines Abfallgebindetypen für jedes beliebige Bezugsjahr hergeleitet werden. Das Nuklidinventar des repräsentativen Gebindes eines Abfallgebindetypen ergibt sich dann durch die Division des Gesamt-Nuklidinventars durch die Anzahl der Abfallgebinde dieses Abfallgebindetypen.

Als Grundlage für Langzeitsicherheitsanalysen des geologischen Tiefenlagers wird sinnvollerweise dasjenige radiologische Inventar verwendet, das zum Ende des Einlagerungsbetriebs des Tiefenlagers vorliegt[7]. Als Referenzjahr für das MIRAM-RBG wird unter Berücksichtigung des Endes des Einlagerungsbetriebs des HAA-Lagers 2075 angesetzt (siehe Kapitel 2.5.1).

## 2.6 MIRAM-RBG Datensynthese

Auf Basis der in ISRAM-Nagra definierten Referenzgebinde und der gemäss Kapitel 2.5.2 definierten Produktionsstatistiken resultiert schlussendlich die Datenbank des vollumfänglichen, realistisch erwarteten Abfallinventars, das dem RBG zugrunde gelegt wird – MIRAM-RBG.

Eine abschliessende schematische Übersicht über die Herleitung der repräsentativen Gebinde der MIRAM-RGB-Datenbasis ist in Fig. 2-3 dargestellt. Im Rahmen des MIRAM-RBG sind folgende Abfallgebindetypen in ISRAM-Nagra hinterlegt:

- 395 reale AGT, welche durch die Entsorgungspflichtigen im Umfeld von behördlichen Genehmigungsverfahren bereits in ISRAM spezifiziert worden sind, und
- 257 Modell-AGT, welche von der Nagra ergänzend eingeführt worden sind, um die Palette künftiger Abfälle abdeckend zu erfassen

---

[6] Das vorher eingeführte Referenzgebinde kann diese Aufgabe nicht leisten, da es gemäss seiner Definition die mittleren Eigenschaften eines AGT-Einzelgebindes zum Zeitpunkt seiner Produktion darstellt – und damit keine Aussage über das zeitlich abhängige, über alle AGT-Einzelgebinde gemittelte Inventar machen kann.

[7] MIRAM-RBG ist primär eine Basis für die Langzeitsicherheitsbetrachtungen. Für andere spezifische Aspekte in der zukünftigen Entwicklung des Projekts gTL und Verpackungsanlagen, z. B. Auslegung von Abschirmungen, Anlagenplanung oder Störfallanalysen, sind ggf. andere Referenzzeitpunkte zu definieren und auch die Beschreibung des Nuklidinventars ist je nach Bedarf auf die entsprechenden spezifischen Anforderungen (z. B. Anforderung eines konservativen Nuklidinventars) anzupassen.

# 3 Kategorisierung der Abfälle

Für eine übersichtliche, eindeutige und nachvollziehbare Bezeichnung der Abfälle, aber auch zur gegenseitigen Abgrenzung unterschiedlicher radioaktiver Abfälle bzw. ihrer Gruppierung (z. B. im Zuge von Auswertungen), werden die Abfälle in MIRAM nach unterschiedlichen Kriterien kategorisiert.

Die Verwendung unterschiedlicher Kriterien zur Kategorisierung der Abfälle erlaubt entsprechend aufgeschlüsselte Bilanzierungen des Inventars. Die Kategorisierung nach KEV (Kapitel 3.1) und Prozessschritt (Kapitel 3.2) werden z. B. im Kapitel 7 angewendet. Andere Kategorisierungen erlauben eine vertiefte Auswertung für planerische Zwecke oder bei sicherheitsanalytischen Betrachtungen. Die Kategorisierungen können bei Bedarf bei der Datenübergabe an externe Rechen- und Analysewerkzeuge mit übergeben werden.

## 3.1 Kategorien nach KEV

Die Kernenergieverordnung, Art. 51 (KEV 2004), unterschiedet drei Kategorien radioaktiver Abfälle:

- Hochaktive Abfälle (HAA): im Wesentlichen abgebrannte Brennelemente, die nicht weiterverwendet werden, und verglaste Spaltproduktlösungen aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen
- Alphatoxische Abfälle (ATA): Abfälle, deren Gehalt an Alphastrahlern den Wert von 20'000 Bq/g konditioniertem Abfall übersteigt
- Schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA): alle übrigen radioaktiven Abfälle, die weder in die Kategorie HAA oder ATA fallen und die sich nicht für eine Befreiung gemäss Strahlenschutzverordnung 2017 (StSV 2017) qualifizieren

Diese Kategorisierung findet auch Anwendung bei der Benennung der sogenannten Abfallsorten (Kapitel 6, Tab. 6-1) und der Zuteilung der Abfallgebindetypen zu diesen.

## 3.2 Kategorien nach Prozessschritt

Der Betrieb von KKW beinhaltet unterschiedliche Prozessschritte, bei denen jeweils radioaktive Abfälle anfallen. In MIRAM werden daraus (vereinfachend) fünf Kategorien abgeleitet und den einzelnen Abfallgebindetypen zugeordnet. Den Abfallgebindetypen der MIF-Abfälle und der Modellabfälle, die aus den Verpackungsanlagen (und ggf. Oberflächenanlagen des Tiefenlagers) herrühren, werden diese Kategorien ebenfalls, zumindest sinngemäss, zugeordnet.

Diese Unterteilung findet sich auch im Kapitel 4 wieder, in dem die für die unterschiedlichen Prozessschritte unterschiedlichen Charakterisierungs- und Inventarisierungsmethoden erläutert werden. Diese Kategorisierung findet zudem Anwendung bei der Benennung der Abfallsorten und der Zuteilung der Abfallgebindetypen zu diesen (siehe Kapitel 6).

- BA: Betriebsabfälle der KKW, des Zwilag, der Oberflächenanlagen/des geologischen Tiefenlagers (OFA)[8] sowie aus dem MIF-Bereich
- SA: Stilllegungsabfälle der KKW, des Zwilag, der OFA sowie der Forschungsanlagen
- RA: Reaktorabfälle der KKW

[8] Darunter werden insbesondere die Verpackungsanlagen und die Behandlungsanlage für die Transport- und Lagerbehälter der Brennelemente gezählt.

- WA: Wiederaufarbeitungsabfälle der KKW
- BE: abgebrannte Brennelemente der KKW und aus Forschungsreaktoren

Betriebsabfälle (BA) fallen in Kernkraftwerken an insbesondere in Wasser-Reinigungsanlagen, im primären Kühlkreislauf, in den Brennelementbecken sowie bei der Kondensatreinigung und der Abwasseraufbereitung. Mehrheitlich handelt es sich bei den Betriebsabfällen um Ionentauscherharze und Konzentrate, aber auch um feste Mischabfälle. In anderen kerntechnischen Anlagen (z. B. dem Zwilag und den künftigen Verpackungs- und ggf. den Oberflächenanlagen des Tiefenlagers) fallen vergleichbare Betriebsabfälle an, wenn auch in geringeren Mengen. MIF-Betriebsabfälle stammen aus der Forschung mit radioaktiven Materialien sowie aus den vom Paul Scherrer Institut (PSI) im Auftrag des Bundesamts für Gesundheit (BAG) durchgeführten Sammelaktionen in Medizin, Industrie und Forschung. Die MIF-Abfälle werden vom PSI konditioniert, verpackt und zwischengelagert.

Stilllegungsabfälle (SA) fielen in der Vergangenheit bereits beim Rückbau der Forschungsreaktoren des PSI, DIORIT und SAPHIR, an. Grössere Mengen werden aus der Stilllegung von Teilchenbeschleunigern (PSI) erwartet. Abgesehen vom Kernkraftwerk Mühleberg KKM, welches 2019 ausser Betrieb genommen wurde und sich nun in der Rückbauphase befindet, werden die Stilllegungsabfälle der KKW erst in Zukunft anfallen. Bei der Stilllegung der Kernanlage Zwilag und allenfalls bei den Verpackungsanlagen für die Entsorgung der Abfälle im Tiefenlager werden weitere Stilllegungsabfälle anfallen. Mengenmässig dominieren die Stilllegungsabfälle der KKW.

Bei Reaktorabfällen (RA) handelt es sich um aktivierte und kontaminierte Komponenten aus den Reaktordruckbehältern der KKW, die während des Betriebs ausgetauscht werden. Hierunter fallen vor allem bewegliche und einem betrieblichen Verschleiss unterliegende Komponenten (wie Steuer- und Abschaltelemente, Brennelementkästen, Messlanzen etc.), aber auch fest installierte Komponenten, die ersetzt werden müssen. Nach Ausserbetriebnahme der KKW werden diese vorgenannten Komponenten aus Konsistenzgründen grösstenteils weiterhin den Reaktorabfällen und nicht den Stilllegungsabfällen zugeschlagen.

Die Wiederaufarbeitungsabfälle (WA) bestehen aus Kokillen mit hochaktiven verglasten Spaltproduktlösungen, verpressten Strukturmaterialien von abgebrannten Brennelementen und weiteren Rückständen aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen der KKW. Diese Wiederaufarbeitung erfolgte bei Orano (früher AREVA oder COGEMA) bzw. bei Sellafield Ltd. (früher BNFL/BNGS).

Unter der Kategorie Brennelemente (BE) sind im Wesentlichen die abgebrannten Brennelemente der schweizerischen KKW zu verstehen. Abgebrannte Brennelemente sind als radioaktiver Abfall im geologischen Tiefenlager zu entsorgen, da das Kernenergiegesetz (Art. 9 KEG) die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente seit 2018 definitiv ausschliesst.

## 3.3 Kategorien nach Eigentümerschaft

Jedes Abfallgebinde ist einem Eigentümer zugeordnet. Als Eigentümer für Abfälle, die im Zusammenhang mit dem Betrieb und der zukünftigen – für KKM bereits laufenden – Stilllegung der KKW stehen, kommen die Kernkraftwerke[9] sowie das Zwilag in seiner Eigenschaft als Dienstleister für die KKW in Frage. Abfälle aus der Stilllegung des Zwilag und des Versuchskernkraftwerks Lucens (VKKL) werden formal unter der Eigentümerschaft des Zwilag geführt. Zusätzlich werden die Abfälle aus der Behandlungsanlage für Transport- und Lagerbehälter der Brennelemente (TLB-BHA) den KKW zugeordnet, da die Behälter jeweils einem eindeutigen

[9] Wobei Beznau 1 und 2 (KKB 1 und KKB 2) zu Beznau (KKB) zusammengefasst werden.

KKW gehören[10]. Die resultierenden Eigentümer in MIRAM sind KKB, KKG, KKL, KKM und ZWILAG. Abfälle mit diesen Eigentümern werden weiterhin gemäss den Kategorien nach Prozessschritt unterteilt (siehe Abschnitt 3.2).

Der Bund, bzw. in seinem Auftrag das Paul Scherrer Institut, wird als Eigentümer für die Betriebs- und Stilllegungsabfälle aus dem MIF-Bereich geführt. Die Abfälle des CERN werden hierbei separat ausgewiesen. Die daraus abgeleiteten Eigentümer in MIRAM sind PSI und CERN. Zusammengefasst werden sie als MIF bezeichnet.

Die Abfälle aus den Verpackungsanlagen (und ggf. den Oberflächenanlagen) für die Tiefenlagerung – ausgenommen der Abfälle aus der TLB-BHA – werden ebenfalls gesondert betrachtet. Die Eigentumsfrage dieser zukünftigen Abfälle ist noch nicht abschliessend geklärt. Sie werden daher vorerst dem generischen Eigentümer «Oberflächenanlage» zugewiesen. Hierbei wird zwischen den Verpackungsanlagen für SMA/ATA und für HAA unterschieden[11]: OA SMA und OA HAA. Zusammengefasst werden sie unter dem Kürzel OFA.

## 3.4 Kategorien nach Abfallherkunft

Mit der Abfallherkunft wird der Ort der Produktion des Abfalls beschrieben. Die Herkunft kann eng eingegrenzt werden. Dies wird jedoch in der Regel nur bei Abfällen angewendet, welche aus Anlagen des PSI stammen. Z. B. wird die Herkunft von Abfällen aus den einzelnen Forschungsreaktoren (DIORIT, SAPHIR, PROTEUS) und den Anlagen des PSI-Ost oder -West explizit ausgewiesen. Bei Abfällen aus den Anlagen der KKW wird auf eine feinere Herkunftsunterscheidung verzichtet. Für die Wiederaufarbeitungsabfälle wird nach einer Aufarbeitung in Frankreich oder Grossbritannien unterschieden.

Diese Kategorisierung findet auch Anwendung bei der Benennung der Abfallsorten und der Zuteilung der Abfallgebindetypen zu diesen. Die einzelnen Kategorien sind in Kapitel 6, Tab. 6-1 beschrieben.

## 3.5 Kategorien nach Rohabfall

Es ist im Wesentlichen die Art des Rohabfalls, die die Art der Konditionierung und der weiteren Handhabung bestimmt. Aus den Charakteristiken der Rohabfälle sowie der Konditioniermethode resultieren Unterschiede der Abfallgebindetypen, die sich z. B. auf das Verhalten des radiologischen Inventars im Zuge der Betriebs- und Nachbetriebsphase auswirken. Für die diesbezüglichen sicherheitsanalytischen Betrachtungen ist eine entsprechende Gruppierung hilfreich.

Diese Kategorisierung findet auch Anwendung bei der Benennung der Abfallsorten und der Zuteilung der AGT zu diesen. Die einzelnen Kategorien sind in Kapitel 6, Tab. 6-1 beschrieben.

## 3.6 Kategorien nach Behältertyp

Jedes Abfallgebinde besitzt als äusserste Hülle einen Behälter, dessen Typ vom jeweiligen Abfallgebindetyp abhängig ist, dem das Gebinde zugeordnet ist. Eine nähere Beschreibung der Behältertypen enthält Kapitel 5.

Diese Kategorisierung findet Anwendung bei der Benennung der Abfallsorten und der Zuteilung der Abfallgebindetypen zu diesen. Die einzelnen Kategorien sind in Kapitel 6, Tab. 6-1 beschrieben.

---

[10] Die Abfälle aus der Entsorgung der Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente fallen erst während des Betriebs der Verpackungs- und Oberflächenanlagen an.

[11] Historisch wird das Kürzel OA für Oberflächenanlagen auch für die Verpackungsanlagen weiterverwendet.

## 3.7 Kategorien nach Endlagerbehälter

Im Sinne einer einfachen und sicheren Handhabung sowie Einlagerung der Abfälle sollen nach derzeitiger Planung ausschliesslich standardisierte Endlagerbehälter in das geologische Tiefenlager eingebracht werden. Zum Teil sind dies die Behältertypen nach Kapitel 5.2 direkt, zum Teil ist eine zusätzliche Verpackung in einem der standardisierten Endlagerbehälter notwendig. Eine Unterscheidung nach diesen Typen von Endlagerbehältern hat sich in der Vergangenheit für verschiedene Auswertungen als sinnvoll erwiesen. Das im Rahmen des RBG angesetzte Konzept hierzu sowie die in diesem Rahmen aktuell vorgesehenen unterschiedlichen Endlagerbehälter sind im Anhang A beschrieben.

# 4 Methoden der Charakterisierung und Inventarisierung

Für jedes Referenzgebinde werden die gemäss AGT-Spezifikation zu deklarierenden Kenndaten und Eigenschaften des chemischen und radiologischen Inventars erhoben. Dazu werden Methoden und Werkzeuge verwendet, die in diesem Kapitel vorgestellt werden. Die Verwendung einer Methode ist abhängig von der Eigenschaft und Herkunft des jeweiligen Rohabfalls und vor allem vom Prozessschritt, in dem er anfällt. D. h., nicht alle Methoden sind für alle Abfälle in gleicher Weise geeignet. Zum Teil ergänzen sich Methoden und werden parallel – auch im Sinne einer Qualitätskontrolle – für den gleichen Abfallgebindetyp angewandt.

## 4.1 Materialinventar

Für bereits produzierte Abfälle liegen AGT-Spezifikationen vor, in denen der Abfallproduzent im Informationssystem radioaktiver Materialien, ISRAM, mittlere Materialinventare mit zugehörigen Bandbreiten deklariert hat. Diese nicht-standardisierten Material-Informationen werden hinsichtlich einer effizienten Datenhaltung von der Nagra in ein System von Standardmaterialien konvertiert. Ein Standardmaterial ist i. Allg. die Zusammenführung und Vereinheitlichung von Materialien vergleichbarer Zusammensetzung, aber verschiedener Markennamen und unterschiedlicher Hersteller (bspw. diverse Zementmischungen oder Stahllegierungen etc.) oder die Zusammenfassung von einzelnen chemischen Komponenten in übergreifende Materialbeschreibungen. Damit stellt das System der Standardmaterialien einen wichtigen normierten Baustein der MIRAM-Datenbasis dar.

Die Materialinventare für zukünftig anfallende Abfälle werden von der Nagra aufgrund bestehender Erfahrungs- oder Literaturwerte sowie vorliegender Materialanalysen modellhaft abgeschätzt. Die in MIRAM-RBG definierten Standardmaterialien sind in Anhang D aufgelistet.

Neben der detaillierten Angabe des Materialinventars, ist für die Sicherheitsanalyse die Klassifizierung aller Materialien in anorganische (nichtmetallische), metallische und organische Stoffe relevant. Diese Klassifizierung ist für alle Materialien in ISRAM hinterlegt.

Für korrosionssensitive Metalle werden zusätzlich die erwarteten Metallgeometrien in Form von vereinfachten Standardgeometrien beschrieben. Diese Information wird zusammen mit den deklarierten Metallmassen in Oberflächen-zu-Massen-Verhältnisse umgerechnet. Diese Information wird komponentenspezifisch (Rohabfall, Behälter etc.) erfasst.

## 4.2 Radiologisches Inventar

Die Nuklidinventare der Referenzgebinde basieren für AGT mit bestätigter Endlagerfähigkeit grundsätzlich auf den in den AGT-Spezifikationen enthaltenen Informationen. Bei AGT mit fortgeschrittener Produktion wird für die Nuklidinventare zusätzlich primär auf die in den Individuellen Zusatzdokumentationen, IZD, der realen Einzelgebinde deklarierten Angaben zurückgegriffen. Für Modell-AGT wird auf Modellrechnungen und Abschätzungen, wenn möglich auf Basis vergleichbarer, bereits existierender Abfälle abgestützt.

Aufgrund der Heterogenität der Prozessschritte (siehe Kapitel 3.2) und der Rohabfallströme generell sind auch die Methoden zur radiologischen Inventarisierung unterschiedlich. Die jeweils verwendeten Methoden bei unterschiedlichen Prozessschritten und/oder Rohabfallströmen werden in den folgenden Unterkapiteln in ihren Grundzügen beschrieben.

### 4.2.1 Betriebsabfälle der Kernkraftwerke

Bei Betriebsabfällen (BA) aus Kernkraftwerken handelt es sich vor allem um Abfälle aus den Reinigungsanlagen diverser Wasser- und Kühlmittelkreisläufe, um Mischabfälle aus den täglichen Arbeiten in der kontrollierten Zone sowie um thermisch behandelte Mischabfälle (Aschen oder Schlacken).

Typischerweise können an konditionierten Abfallgebinden nur Nuklide direkt gemessen werden, welche über energiereiche Gammastrahlungslinien verfügen. Niederenergetische Gammastrahlung sowie Beta- und Alphastrahlung werden grösstenteils bereits innerhalb des Abfallgebindes absorbiert. Somit ist die direkte radiologische Messung nur selten geeignet, die Aktivitäten der im Rahmen der Betriebs- und Langzeitsicherheit relevanten Nuklide zu bestimmen.

Auch eine analytische Berechnung von Nuklidaktivitäten (siehe Kapitel 4.2.2 und 4.2.3) ist normalerweise nicht anwendbar. Die in den Betriebsabfällen enthaltenen Radionuklide durchlaufen von ihrer Entstehung im Reaktorkern oder in dessen Umgebung bis zum schlussendlichen Eintrag in den entsprechenden Betriebsabfallstrom komplexe, mehrstufige, physikalische und chemische Prozesse. Zudem werden Abfälle unterschiedlichen Entstehungsalters vor der Konditionierung i. Allg. in Vorlagebehältern gesammelt und dabei vermischt. Diese Umstände lassen sich nur schwer im Rahmen analytischer Berechnungen der Nuklidinventare in den konditionierten Gebinden berücksichtigen.

Die Bestimmung von Nuklidaktivitäten erfolgt daher mit der «Methode der Korrelationsfaktoren», welche auf der Kombination von direkten Messungen und indirekten Berechnungen fusst. Von den verschiedenen Rohabfallarten werden repräsentative Proben entnommen, deren Nuklidinventare in radiochemischen Laboranalysen gemessen werden. Für die gemessenen Nuklide lassen sich dann die Verhältnisse jeweils zweier Nuklide zueinander, die sogenannten Korrelationsfaktoren, herleiten.

Für die Bestimmung der Nuklidinventare der konditionierten Abfallgebinde werden nun die Aktivitäten der schwer messbaren Nuklide abgeschätzt, indem sie mit den radiochemisch bestimmten Verhältnissen an die leicht messbaren Nuklide, in diesem Kontext auch Schlüsselnuklide genannt, korreliert werden. Als Schüsselnuklide werden $^{60}$Co und $^{137}$Cs gewählt. $^{60}$Co und $^{137}$Cs verfügen über gut messbare Spektrallinien und sind sehr typisch für Betriebsabfälle. Dabei wird $^{60}$Co als repräsentativ für Nuklide, die durch die Aktivierung von Materialien entstehen, betrachtet. $^{137}$Cs wird als stellvertretend für Spaltprodukte und Alphastrahler betrachtet. Diese Methodik erlaubt ein für die Zwecke der Betriebs- und Langzeitsicherheit anwendbares Nuklidinventar abzuschätzen und ist in Fig. 4-1 schematisch zusammengefasst.

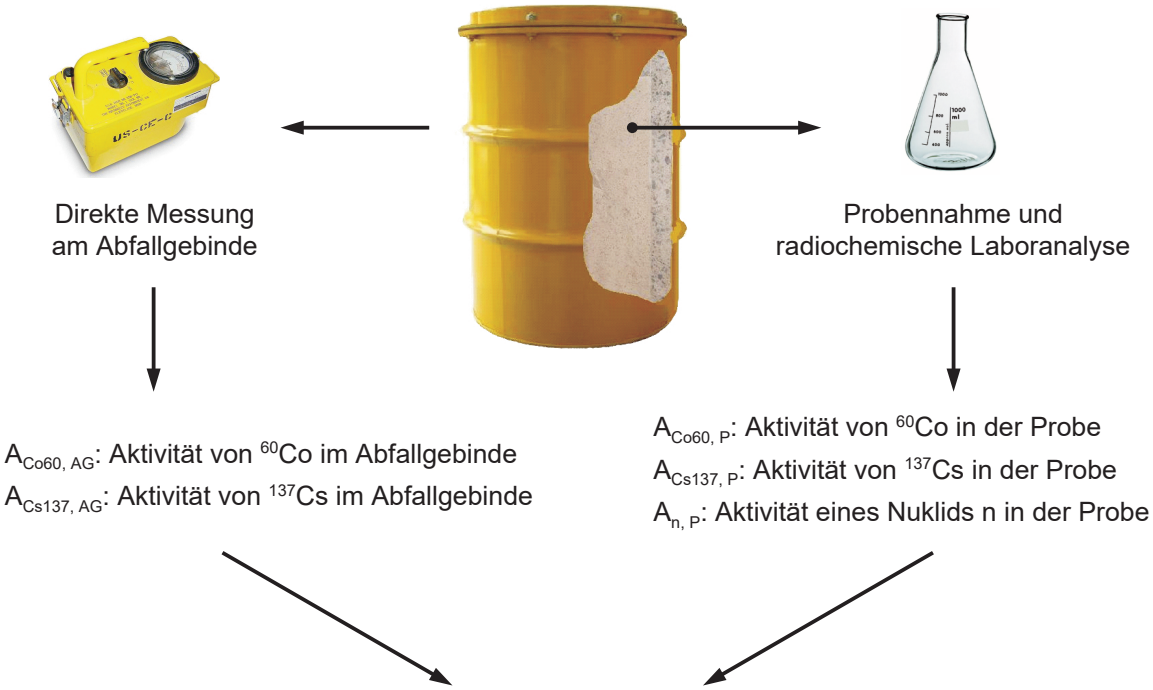



Fig. 4-1: Schema der Herleitung von Nuklidinventaren in Betriebsabfallgebinden

### 4.2.2 Stilllegungsabfälle der Kernkraftwerke

Für MIRAM-RBG ist das Stichdatum für die Berücksichtigung bereits real existierender Abfallgebinde der 31.12.2019. Bis zu diesem Zeitpunkt befand sich kein schweizerisches KKW im Rückbau (das Kernkraftwerk Mühleberg wurde zum 20.12.2019 abgeschaltet). Sämtliche Stilllegungsabfälle aus dem Rückbau der KKW werden für MIRAM-RBG also erst in Zukunft erwartet und werden daher modellhaft durch die Nagra beschrieben.

Bei den Stilllegungsabfällen (SA) handelt es sich um den volumenmässig grössten Teil der nach der Ausserbetriebnahme eines KKW beim Rückbau anfallenden radioaktiven Abfälle. Hierbei zählen die abgebrannten Brennelemente nicht zu den eigentlichen Stilllegungsabfällen und stellen eine eigene Kategorie dar (siehe Kapitel 4.2.4). Die beweglichen Komponenten, die teilweise erst nach der Ausserbetriebnahme des Reaktors aus diesem entnommen und konditioniert werden, werden der Kategorie Reaktorabfälle zugeordnet (siehe nächstes Kapitel 4.2.3).

Die verbleibenden, bei der KKW-Stilllegung anfallenden Abfälle, kann man in drei Unterkategorien aufteilen:

- *Aktivierte* Stilllegungsabfälle: Dies sind generell solche Reaktor- und Gebäudekomponenten, deren Gesamtaktivität vor allem durch Aktivierungsprozesse während des Reaktorbetriebs induziert wurde. Im Allgemeinen liegt parallel dazu auch eine Kontamination dieser Komponenten vor, die aber im Vergleich zur Aktivierung oft um Grössenordnungen schwächer ausfällt. Prominente Beispiele für aktivierte Stilllegungsabfälle sind Kerneinbauten, Reaktordruckbehälter (RDB) und der biologische Schild um den Reaktordruckbehälter.
- *Kontaminierte* Stilllegungsabfälle: Unter kontaminierten Stilllegungsabfällen werden generell alle Reaktor- und Gebäudekomponenten zusammengefasst, deren Gesamtaktivität vor allem durch ihre Kontamination und weniger oder gar nicht durch die Aktivierung des Grundmaterials dominiert wird. Bei Kontamination handelt es sich um radioaktives Material, welches mit dem Kühlmittel und anderen Betriebsmitteln verschleppt und auf Oberflächen abgelagert wurde. Im Betrieb und bei Reparaturen an kontaminierten Systemen können Kontaminationen auch luftgetragen in Räume der kontrollierten Zone gelangen. Kontaminierte Abfälle umfassen daher Materialien, die mit sogenannten Primärmedien, also kontaminierten wässrigen Lösungen, aber auch luftgetragener Kontamination, in Berührung kamen.
- *Sekundärabfälle* aus der KKW-Stilllegung: Dies sind sämtliche während des KKW-Rückbaus und der Konditionierung und der Verpackung von Stilllegungsabfällen anfallenden Betriebsabfälle. Hierbei handelt es sich zum Beispiel um Filterkerzen aus der Wasseraufbereitung, kontaminiertes Gebrauchsmaterial aus den Rückbauarbeiten, oder Sekundärabfälle, welche durch die Vorbehandlung (z. B. Schneiden, Dekontaminieren etc.) diverser kontaminierter und aktivierter Komponenten entstehen.

Üblicherweise wird die Gesamtaktivität aller Stilllegungsabfälle (*ohne* abgebrannte Brennelemente) zu 99 % von den aktivierten Abfällen dominiert. Die Aktivität aller Stilllegungsabfälle, die aus der Kontamination stammt, liegt entsprechend nur bei etwa 1 % der Gesamtaktivität.

Bei der Charakterisierung von *Sekundärabfällen* aus der Stilllegung werden grundsätzlich die gleichen Methoden wie für die Betriebsabfälle der KKW angewendet (siehe Kapitel 4.2.1). Dabei werden die Aktivitäten der Schlüsselnuklide $^{60}$Co und $^{137}$Cs anhand von Erfahrungswerten abgeschätzt.

Für die Charakterisierung der *kontaminierten Stilllegungsabfälle* werden grundsätzlich ebenfalls die gleichen Methoden wie für die Betriebsabfälle der KKW angewendet (siehe Kapitel 4.2.1). Die zu erwartenden Aktivitäten der Schlüsselnuklide $^{60}$Co und $^{137}$Cs werden anhand von beispielhaften Kontaminationsmessungen der KKW und unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten der KKW-Experten abgeschätzt.

Für die Charakterisierung der *aktivierten Stilllegungsabfälle* verwendet die Nagra das System AMAC («**A**dvanced **M**ethodology for **A**ctivation **C**haracterization») (Nagra 2022). Mit Hilfe von AMAC lässt sich die Aktivierungsverteilung in der Anlage eines KKW simulieren und mittels Bestrahlungsproben validieren.

Zudem beinhaltet AMAC weitere Module, die eine optimierte Verpackungsplanung der Reaktorkomponenten und Gebäudestrukturen unterstützen. Hierzu werden die durch AMAC ermittelten KKW-Stilllegungsabfälle je nach Aktivierungsgrad klassifiziert. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der Zuordnung zur potenziellen Befreiung, zur Abklinglagerung[12] oder zur Entsorgung im geologischen Tiefenlager werden die Reaktorkomponenten und Gebäudestrukturen einem

[12] Sofern keine Kontamination vorliegt bzw. das Material erfolgreich dekontaminiert wird.

möglichst effizienten Verpackungskonzept zugeordnet. Diese auf theoretischer Basis ermittelten Verpackungskonzepte werden fallweise mit den KKW-Betreibern auf deren individuelle Bedürfnisse abgestimmt.

Zusammenfassend gelingt über die Monte Carlo basierte AMAC-Methodik inkl. der parallelen Validierung mittels Bestrahlungsproben und späteren Probenahmen an den Komponenten vor Ort eine vollständige Charakterisierung der aktivierten KKW-Stilllegungsabfälle. Diese wird in einem nachfolgenden Schritt in entsprechende Zerlege- und Verpackungskonzepte für die diversen Reaktorkomponenten und Gebäudestrukturen umgesetzt. Daraus ergibt sich schlussendlich die Gesamtbilanz der für die KKW-Stilllegungsabfälle verwendeten Abfallgebindetypen inkl. der AGT-spezifischen radiologischen Inventare.

In Fig. 4-2 ist eine Übersicht über die einzelnen Arbeitsschritte der verwendeten AMAC-Methodik dargestellt, die im Folgenden genauer erläutert werden.

**Erhebung der Modellierungsdaten**

In einem ersten Schritt werden die benötigten Informationen und Daten bei den Betreibern der KKW eingeholt. Es handelt sich um technische Zeichnungen von Anlagenkomponenten und Gebäudeabschnitten, Datensätze beispielsweise über die Betriebshistorie des Reaktors und die nukleare Reaktorkernkonfiguration sowie verfügbare Messwerte zu Materialzusammensetzungen oder relevanten radiologischen Grössen. Diese werden ergänzt durch Erkenntnisse aus einer oder mehreren Begehungen des Reaktorgebäudes, die stattfinden, um die charakteristischen Ausbreitungspfade für die aktivierende Neutronenstrahlung zu identifizieren. Die Begehungen verschaffen auch einen Überblick über die zusätzlichen Installationen vor Ort, die in den technischen Zeichnungen ggf. nicht enthalten sind. Zudem findet auf Basis der Begehung(en) eine Planung statt, an welchen Positionen die Bestrahlungsproben für die spätere Validierung angebracht werden sollen.

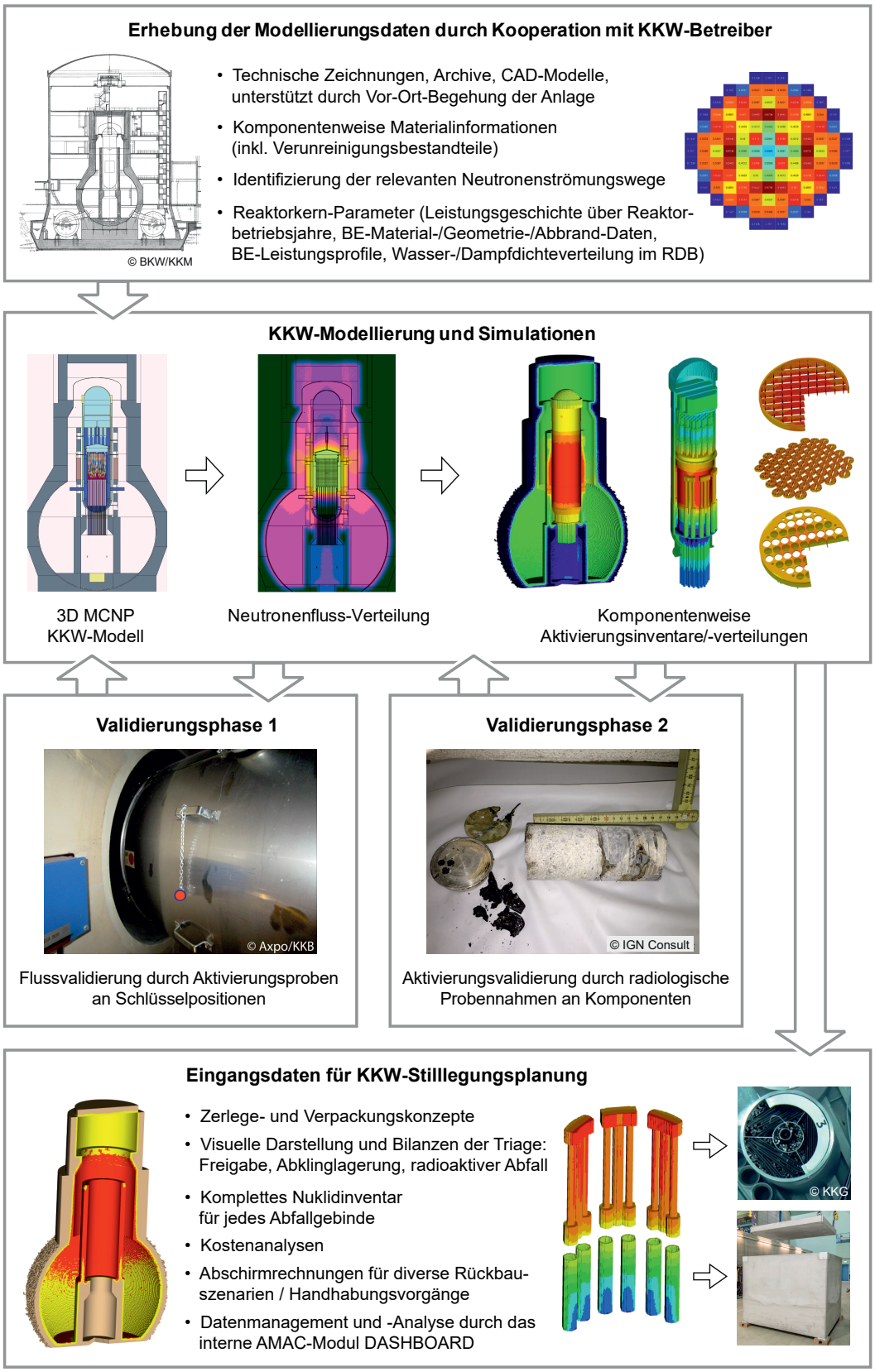



Fig. 4-2: **A**dvanced **M**ethodology for **A**ctivation **C**haracterization (AMAC) (Nagra 2022) – Übersicht über die Methodik und die Sequenz der involvierten Arbeitsschritte

**Modellierung und Simulationen**

Anhand dieser Daten wird ein Monte Carlo Simulationsmodell des zu betrachtenden KKWs erstellt. Auslegung und Detailgrad des Modells sind für die nachfolgende rechnerische Charakterisierung der aktivierten Reaktorkomponenten und Gebäudestrukturen optimiert. Für die Simulation des Neutronentransports wird das international anerkannte Monte Carlo Programmsystem MCNP (Werner 2017) verwendet.

Der Detailgrad des MCNP-Modells wird so gewählt, dass sowohl die Neutronenquelle im Reaktorkern als auch die relevanten Ausbreitungspfade der Neutronenstrahlung ausreichend genau erfasst werden können. Die äussere Modellbegrenzung ergibt sich durch das nach aussen abnehmende Aktivierungsprofil in der Anlage, bis die radiologische Befreiungsgrenze erreicht wird. Darüber hinaus ist keine detaillierte radiologische Charakterisierung anhand von Aktivierungsrechnungen mehr erforderlich. Strukturen ausserhalb dieses Bereichs werden entweder in der Kategorie der kontaminierten Stilllegungsabfälle berücksichtigt oder können befreit und konventionell entsorgt werden.

In dem MCNP-Modell des KKW sind zudem sämtliche Reaktorkomponenten und Gebäudestrukturen enthalten, die einen signifikanten Aktivitätsbeitrag[13] für das nachfolgend zu entwickelnde Zerlege- und Verpackungskonzept liefern.

Nach der abgeschlossenen Modellierung des KKW werden nun MCNP-Simulationen durchgeführt, deren Ziel die Berechnung der Neutronenflussverteilung für einen Volllasttag (bzw. eine *Momentaufnahme* bei 100 % Reaktorleistung) eines repräsentativen Betriebszyklus ist.

Das Resultat ist die Neutronenflussdichteverteilung bei 100 % Leistung des Reaktors im und ausserhalb des Reaktordruckbehälters. Man erkennt an ihr, wie sich die Neutronenstrahlung ausgehend vom Reaktorkern über den Reaktordruckbehälter in den Zwischenraum des biologischen Schildes sowie darüber hinaus in das Reaktorgebäude ausbreitet. Hierbei spielen insbesondere Durchbrüche durch den biologischen Schild oder andere signifikante Schwächungen der Abschirmung eine entscheidende Rolle. Die Neutronenflussdichte nimmt von der Quelle, dem Reaktorkern, bis hin zu den benachbarten Betonstrukturen üblicherweise um ca. 15 Grössenordnungen ab.

Die zuvor ermittelte Neutronenflussdichteverteilung (und das zugehörige, örtlich variable Energiespektrum) dient als Eingangsgrösse für anschliessende komponentenabhängige Aktivierungsrechnungen. Für diese Aktivierungsrechnungen, d. h. für die rechnerische Verfolgung des über die Bestrahlungszeit stattfindenden, konkurrierenden Aufbaus und Zerfalls von Nukliden, wird die Leistungsgeschichte des Reaktors bis zu dessen (effektiver oder geplanter) Ausserbetriebnahme berücksichtigt. Für die Berechnung wird jede Komponente oder Gebäudestruktur mit einem dreidimensionalen, räumlich hoch aufgelösten Netz versehen. Für jede einzelne Zelle dieses Netzes (Grössenordnung bis zu einer Million Zellen) wird eine eigene Materialbilanzierung mit anschliessender Ermittlung des radiologischen Aktivierungsinventars ausgeführt.

In Kenntnis des radiologischen Inventars für jede Aktivierungszelle kann nun – für jeden beliebigen Zeitpunkt – die nuklidspezifische Aktivitätsverteilung für jede Reaktorkomponente und Gebäudestruktur bilanziert und dargestellt werden.

[13] Durch Aktivierungsprozesse

Bei der Berechnung der spezifischen Nuklidaktivitäten spielt die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung des Grundmaterials eine massgebliche Rolle. Die verwendeten Materialien – also beispielhaft Kohlenstoffstahl für den Reaktordruckbehälter, Edelstähle für Einbauten, Armierungs- und Baustähle sowie Normal- und Abschirmbetone für die betreffenden Gebäudestrukturen – inkl. deren äusserst relevanten Verunreinigungen stammen teils aus direkten chemischen Analysen von Materialproben vor Ort, sind vor allem im Rahmen der Arbeitsschritte vor der Stilllegung der betreffenden Anlagen teils auch der Literatur entnommen.

**Validierungsphase 1**

Parallel zu den o. g. Tätigkeiten der rechnerischen Ermittlung von Neutronenfluss- und Aktivitätsverteilungen wird an der Validierung der Simulationsergebnisse gearbeitet. Hierzu werden Aktivierungsproben in ausgewählte Raumbereiche und an Schlüsselpositionen des modellierten KKW gehängt und über einen kompletten Betriebszyklus bestrahlt. Typischerweise handelt es sich um eine mittlere zweistellige Anzahl von Aktivierungsproben pro KKW.

Nach der Gamma-spektrometrischen Auswertung der Bestrahlungsproben ist man in der Lage, die Neutronenflussverteilung in der Anlage anhand dieser lokal erhobenen Messwerte zu validieren. Über die Validierung kann nun das MCNP-Modell des KKW iterativ angepasst werden, indem im Idealfall der Detailgrad an geeigneter Stelle erhöht wird und somit eine bessere Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung gelingt. Alternativ und pragmatisch ist es jedoch ebenso möglich, die berechneten Aktivierungsergebnisse entsprechend an lokal vorliegenden Messwerten zu skalieren. Damit können klar nachgewiesene Überkonservativitäten für bestimmte Raumbereiche oder ausgewählte Komponenten effizient vermieden werden.

**Validierungsphase 2**

Neben dieser zerstörungsfreien Validierungsmethode (Validierungsphase 1), die offensichtlich den Betrieb der Anlage zur effektiven Bestrahlung der Proben voraussetzt, besteht die Möglichkeit, radiologische und chemische Beprobung der Komponenten und Gebäudestrukturen durchzuführen. Diese zweite Phase der Validierung kann insbesondere nach der Ausserbetriebnahme des KKW, rückbaubegleitend, durchgeführt werden. Materialverunreinigungen (z. B. Kobalt in Stahl, Europium in Beton) dominieren generell die jeweiligen Komponenten-Aktivierung. Nur durch chemische Beprobung der Komponenten und Gebäudestrukturen kann eine genaue Kenntnis der jeweiligen Materialverunreinigungen erreicht werden.

**Erstellung der Eingangsdaten zur Stilllegungsplanung**

Nachdem in den vorangehenden Schritten die Neutronenflussdichte- und die dadurch bedingte Aktivierungsverteilung in der Anlage berechnet und bestmöglich anhand der vorliegenden Messergebnisse validiert wurden, geht es im Folgenden um die Ableitung eines Zerlege- und Verpackungskonzepts für die aktivierten Reaktorkomponenten und Gebäudestrukturen.

Alle relevanten (exemplarischen) Randbedingungen[14] werden zuvor branchenweit abgestimmt. Über die für jedes KKW zur Verfügung stehende, komponentenspezifische Aktivitätsbilanzierung kann nun ein grobes Zerlege- und darauf basierendes Verpackungskonzept abgeleitet werden. Hierzu findet ein von der Nagra entwickeltes Optimierungsprogramm, ALGOPACK (Nagra 2022), Verwendung. Mit Hilfe dieses Programms wird für jede Komponente die bestmögliche Kombination aus Behältertypen und Beladestrategie ermittelt.

---

[14] D. h. Auswahl der verfügbaren Behältertypen und -varianten, behälter- und nuklidspezifische Aktivitätslimiten, realisierbare komponentenspezifische Packungsdichten, Berücksichtigung von Abklinglagerung, Zeitplanung und dementsprechend Aktivität-Zerfallskorrektur für die einzelnen Zerlege- und Verpackungsphasen etc.

Gebäudestrukturen (beispielsweise Biologischer Schild, Drywell-Wände inkl. Armierung, grosse Stahl-Liner, thermische Isolierung des Reaktordruckbehälters etc.) und weitere, ausserhalb des Reaktordruckbehälters befindliche Reaktorkomponenten werden in der Planung zumeist in Grosscontainern verpackt und profitieren weniger stark von einer Zerlege- und Verpackungsoptimierung. Demgegenüber sind es vor allem die höher aktivierten Reaktorkomponenten (wie Reaktordruckbehälter und dessen Kerneinbauten), für die mittels ALGOPACK-Optimierung teilweise signifikante Reduktionen der erforderlichen einzuplanenden Behälter erfolgt.

Gemäss Strahlenschutzverordnung (StSV 2017) kann bei Unterschreitung eines nuklidspezifischen Aktivität-Limits die Befreiung von aktivierten Materialien erfolgen, dies entweder direkt oder im Anschluss an eine bis zu 30-jährigen Abklinglagerung. Demgegenüber ist für höher aktivierte Komponenten und Gebäudestrukturen die Entsorgung im geologischen Tiefenlager vorzusehen. Dieser Triage-Entscheid findet zumeist bei den aktivierten Gebäudestrukturen (i. Allg. armierter Beton) Anwendung und wird durch die zuvor erfolgte, radiologische AMAC-Charakterisierung erheblich vereinfacht. Über Aktivierungs-Isolinien bzw. -flächen kann die jeweilige Eindringtiefe der Aktivierung in die Strukturen veranschaulicht und die resultierende Materialtriage bilanziert werden.

Die Charakterisierung des Kontaminationsbeitrags für die aktivierten Stilllegungsabfälle erfolgt durch eine komponentenweise Bilanzierung der massgeblichen Oberflächen. Diese komponentenspezifischen Oberflächenwerte werden wie für die kontaminierten Stilllegungsabfälle mit einem an den Betriebsabfällen angelehnten Nuklidvektor[15] verknüpft, die Aktivität der Schlüsselnuklide anhand von Mess- oder Erfahrungswerten abgeschätzt und dem Aktivierungsinventar der jeweiligen Komponente zugeschlagen[16].

### 4.2.3 Reaktorabfälle der Kernkraftwerke

Bei den Reaktorabfällen (RA) handelt es sich um aktivierte und kontaminierte Einbauten aus den Reaktordruckbehältern der Kernkraftwerke. Den grössten Teil dieser Komponenten stellen Steuer- und Abschaltelemente dar, die nach einer gewissen Einsatzzeit im Reaktorbetrieb ausgewechselt werden müssen. Hinzu kommen weitere Kerneinbauten[17], die während des Betriebs einem gewissen Verbrauch oder Verschleiss unterliegen und deshalb periodisch ausgetauscht werden müssen. Weitere Gründe für einen Ersatz sind schadhafte Teile oder aktualisierte Versionen des Bauteils.

Am Ende der Betriebszeit eines KKW wird im Rahmen der Stilllegung der gesamte Reaktordruckbehälter inkl. seines Inhalts an Kerneinbauten der Entsorgung zugeführt. In Anlehnung an die Zusammensetzung des Reaktorabfalls (s.o.) wird ein Teil der Kerneinbauten, und zwar zumeist die sogenannten beweglichen Kerneinbauten, wie die Steuerelemente als grösster Teil, den Reaktorabfällen und nicht den Stilllegungsabfällen (SA) zugeordnet. Diese Zuordnung ist vor allem historisch bedingt und erfolgt pragmatisch und nicht anhand einer scharfen Abgrenzung der Prozessschritte (vgl. Kapitel 3.2).

---

15 Dieser Kontaminations-Nuklidvektor wird werks- und anwendungsspezifisch ermittelt und basiert u. a. auf einer Analyse von beispielhaften Kontaminationsmessungen vor Ort.

16 Diese pragmatische Vorgehensweise wird gewählt, da der Kontaminationsbeitrag in den meisten relevanten Fällen um Grössenordnungen unter demjenigen der Aktvierung liegt und somit keine signifikante Auswirkung auf das Gesamtinventar der Komponente hat. In den Fällen mit vergleichsweise geringerer Gesamtaktivität, in denen die Kontamination führend ist, werden die Abfälle üblicherweise in LC-Behälter verpackt werden und die Aktivität der Schlüsselnuklide wird mittels Messungen am konditionierten Gebinde bestimmt werden.

17 Z. B. Brennelementkästen, Siedewasserreaktor-Strahlpumpen, Neutronenfluss-Messlanzen und kleinere Komponenten wie Bolzen, Federn, Schrauben, Brennelement-Bürsten etc.

Die während des Betriebs ausgetauschten Komponenten werden generell unter Wasser im Lagerbecken des KKW deponiert und angesammelt. Wenn sich über die Jahre ein gewisser Bestand an Reaktorabfällen im Lagerbecken angesammelt hat, wird mittels einer Entsorgungskampagne der Bestand der Reaktorabfälle im Becken signifikant reduziert. Die Reaktorabfälle werden in der Kampagne zerlegt, als radioaktiver Abfall konditioniert und in geeigneten Behältern verpackt. In der Schweiz haben bereits einige dieser Kampagnen stattgefunden. Diese dienen als Referenz für die Ableitung von Prognosen über die Menge, Art und Eigenschaften der zukünftig noch anfallenden Reaktorabfälle. Fig. 4-3 zeigt – nach abgeschlossener Zerlegung im Reaktorbecken eines KKW – einen typischen Behälter für die Verpackung von höher aktivierten Reaktorabfällen sowie einige befüllte Einsatzkörbe vor dem Einstellen in Behälter.




Fig. 4-3: MOSAIK-Behälter im Brennelementbecken eines KKW sowie entsprechende, mit Reaktorabfallkomponenten gefüllte MOSAIK-Einsatzkörbe

Bildnachweis: Kernkraftwerk Gösgen

Im Gegensatz zu den Betriebsabfällen ist eine spezifische Komponente der Kerneinbauten an einem genau definierten Ort im Reaktordruckbehälter positioniert, dort dem Neutronenfluss des Reaktorkerns ausgesetzt und wird durch ihn im Laufe der Zeit mehr und mehr aktiviert. Das resultierende Nuklidinventar der später ausgebauten Komponente hängt direkt von ihrer Positionierung und Bestrahlungsgeschichte im Reaktordruckbehälter ab.

Für die Ermittlung des Inventars der Reaktorabfälle werden adäquate nukleare Rechenmethoden für Strahlungsausbreitung, Aktivierung und Zerfall benutzt – wie z. B. MCNP, SCALE (Wieselquist et al. 2020) oder MicroShield® (Grove Software 2011). Praktischerweise kann auch die vorliegende AMAC-Modellierung des entsprechenden Reaktors (siehe Kapitel 4.2.2) zur Charakterisierung herangezogen werden.

Als weitere wichtige Datengrundlage für die Aktivierungssimulation dienen Informationen über die Materialzusammensetzung, die Geometrie und die Masse der Komponenten. Die Materialzusammensetzung ergibt sich i. Allg. aus der Herstellerspezifikation für die Komponente und wird ggf. zusätzlich durch Materialanalysen abgesichert.

Die Resultate der Charakterisierung werden generell an repräsentativen Proben durch radiologische oder radiochemische Analysen und über Dosisleistungs-Profilmessungen[18] validiert – entweder im Lagerbecken an der ausgebauten Komponente bzw. dem beladenen Einsatzkorb unter Wasser oder am beladenen Behälter in Luft.

Neben dem zumeist dominierenden, durch die Aktivierung induzierten Nuklidinventar wird fallweise zusätzlich der Beitrag durch die Oberflächenkontamination der Komponente berücksichtigt. Das Vorgehen hier ist identisch zu demjenigen aus Kapitel 4.2.2.

### 4.2.4 Abgebrannte Brennelemente

Der Begriff «abgebrannte Brennelemente» (BE) bezieht sich auf diejenigen Brennelemente, die endgültig dem Reaktorkern entnommen und nicht für einen weiteren Einsatz verwendet werden. Sie bilden zusammen mit den verglasten Spaltproduktlösungen aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen (siehe Kapitel 4.2.5) die in Art. 51 KEV festgelegte Kategorie der «hochaktiven Abfälle» (HAA).

Ein Brennelement besteht aus einem Bündel von Brennstäben. Eine schematische Darstellung eines Brennstabs für einen Leichtwasserreaktor (alle schweizerischen KKW sind Leichtwasserreaktoren) findet sich in Fig. 4-4 (Cacuci 2010). Der Brennstab besteht aus einem zylindrischen, hohlen Metallrohr (Hüllrohr), in dem die Brennstoffpellets gestapelt werden. Ein Brennstoffpellet ist ein zylindrischer Pressling, der aus einem Pulver, d. h. $UO_2$ (Uraniumoxid) oder $(U,Pu)O_2$ (Uranium-Plutonium-Mischoxid MOX) hergestellt wird. Im Falle von $UO_2$-Brennstoff sind die Pellets das Endprodukt der Kette «Abbau-Umwandlung-Anreicherung», bei der das reine Uran aus dem Ursprungserz herausgelöst und mit $^{235}U$ angereichert wird. Bei Mischoxidbrennstoff (MOX) werden Uranoxid- und Plutoniumoxid-Pulver (letzteres ein Produkt aus der Wiederaufarbeitung) mechanisch gemischt.

Die Grösse der Brennstäbe variiert je nach Reaktortyp. In allen Fällen besteht das Hüllrohr aus einer Zirkoniumlegierung (Zirkaloy). Die Brennstoffzone umfasst nicht die gesamte Länge des Stabes. Am oberen Ende des Stabs befindet sich ein Freiraum (Plenum), der freigesetztes Spaltgas aufnimmt, sowie eine Feder, die die Brennstoffpellets zurückhält. Der Freiraum (Plenum) ist durch Aluminiumoxid-Tabletten (Isolatoren) vom Pelletstapel getrennt. Die Stäbe werden mit Helium unter Druck gesetzt, um die Wirkung des externen Kühlmitteldrucks beim Einsatz im Reaktor zu kompensieren.

---

[18] Über die Dosisleistungsprofilmessungen wird anhand der simulierten Messkonfiguration (zumeist mit Monte-Carlo-Methodik) auf die entsprechende $^{60}Co$-Verteilung innerhalb der Komponente geschlossen. $^{60}Co$ ist in den allermeisten Fällen das Schlüsselnuklid für die Neutronenaktivierungsprozesse von Edelstahlmaterialien. Bei bekannter $^{60}Co$-Verteilung und zugehörigem Neutronenspektrum kann mittels einer nachfolgenden Aktivierungsrechnung das gesamte Nuklidinventar für die Komponente abgeleitet werden.

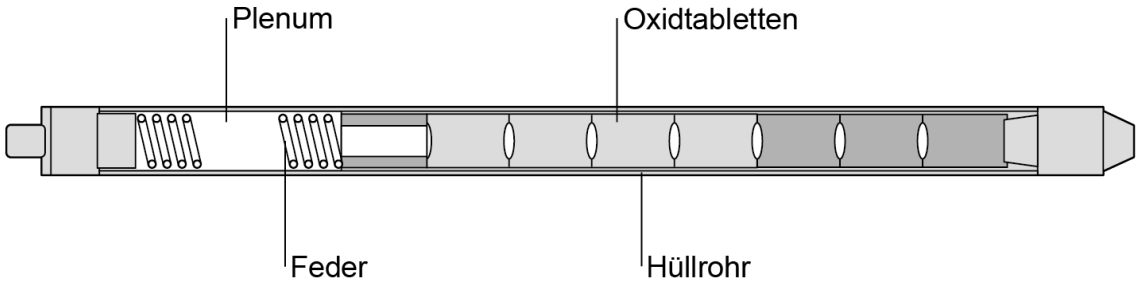



Fig. 4-4: Schematische Darstellung eines Brennstabs (Leichtwasserreaktoren), angepasste Figur aus Cacuci (2010)

Die Aluminiumoxid-Tabletten sind nicht explizit beschriftet.

Für den Einsatz im Reaktor werden die Brennstäbe zu Brennelementen zusammengeführt, deren Aufbau je nach Reaktortyp erheblich variiert. In der Schweiz sind alle kommerziellen Kernkraftwerke (KKW) Leichtwasserreaktoren, wobei die Kernkraftwerke Gösgen und Beznau mit Druckwasserreaktoren und Mühleberg und Leibstadt mit Siedewasserreaktoren betrieben werden (bzw. wurden). Die Brennstäbe werden durch diverse strukturelle BE-Komponenten zusammengehalten, die sich je nach Reaktortyp (Druck- oder Siedewasserreaktor) voneinander unterscheiden. Eine vereinfachte schematische Darstellung eines Brennelements findet sich in Fig. 4-5.

In Druckwasserreaktoren werden die Brennstäbe in einer quadratischen Geometrie zusammengeführt, wobei verschiedene Strukturelemente als Stütze dienen. Die oberen und unteren Endstücke (BE-Kopf und BE-Fuss) bestehen in der Regel aus Edelstahl, unterstützen die Stabilität des Brennelements und leiten den Kühlmittelstrom. Darüber hinaus dient das obere Endstück (BE-Kopf) der Handhabung des Brennelements beim Be- und Entladen des Reaktorkerns. Die Führungsstäbe bestehen wie das Brennstabhüllrohr aus Zirkonium und dienen der Führung der Steuerstäbe. Das zentrale Instrumentierungsrohr (in Fig. 4-5 nicht separat bezeichnet) beherbergt die Kerninstrumentierung und ist ebenfalls aus einer Zirkoniumlegierung gefertigt. Schliesslich gibt es mehrere, axial angeordnete Abstandshalter, die einen genau definierten Abstand zwischen den Brennstäben sicherstellen.

In Siedewasserreaktoren werden die Brennstäbe ebenfalls in einer quadratischen Geometrie zusammengeführt, aber der Querschnitt der Brennstäbe und des gesamten Brennelements ist kleiner als für Druckwasserrektoren. Die Brennstäbe werden durch Abstandshalter fixiert und vom oberen und unteren Endstück (BE-Kopf und -Fuss) gestützt, ähnlich wie bei den Brennelementen für Druckwasserreaktoren. Je nach Hersteller der Brennelemente kann die Auslegung und Geometrie im Detail variieren, insbesondere die des zentralen Wasserkanals. Brennelemente in Siedewasserreaktoren werden von einem abziehbaren Brennelementkasten, gefertigt aus Zirkonium, umhüllt. Dieser dient der Führung der Steuerelemente, die zwischen die Brennelemente eingefahren werden können.

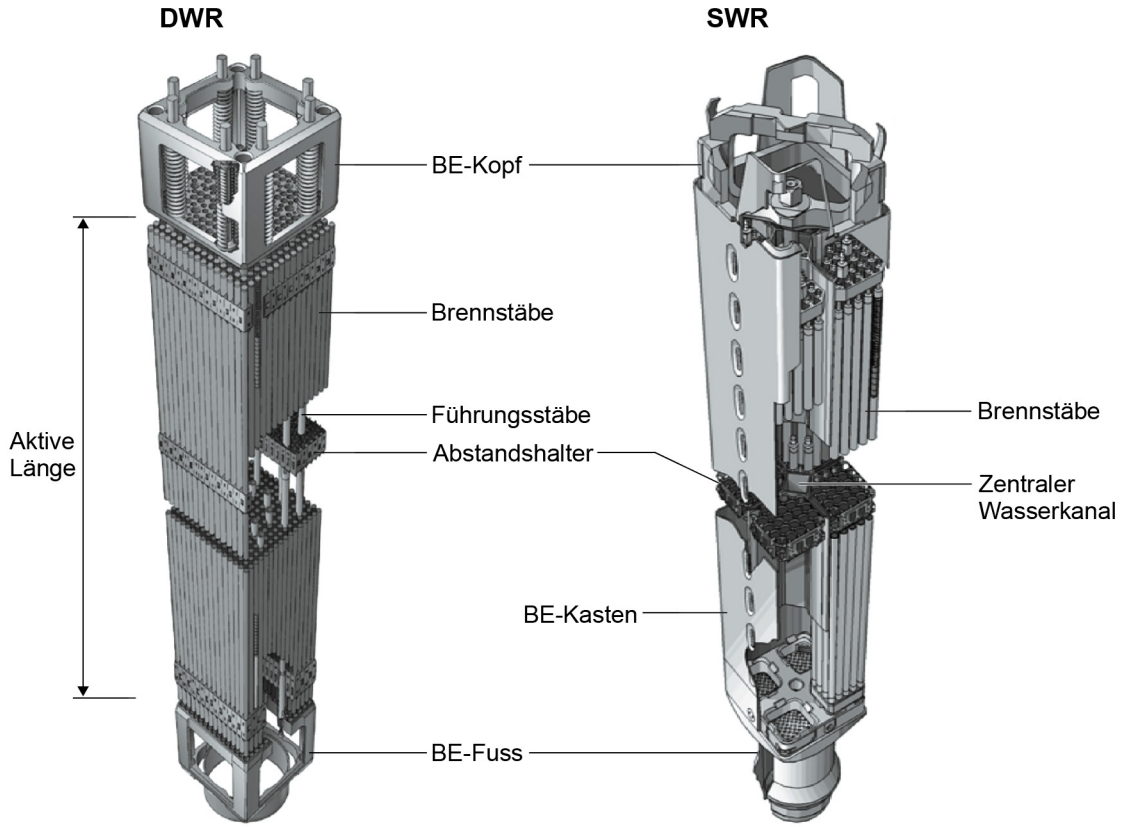



Fig. 4-5: Brennelemente für Druckwasser (links) und Siedewasserreaktoren (rechts)
Jacobsson Svärd (2004)

MIRAM-RBG basiert wie das aktuelle Entsorgungsprogramm (EP21, Nagra 2021) auf dem Szenario «60 Jahre Betriebsdauer der Kernkraftwerke». Dieses Szenario (vgl. Kapitel 2.5.1) geht von einer Betriebsdauer von 47 Jahren für das KKW Mühleberg aus (das bereits 2019 abgeschaltet wurde) und von 60 Jahren für die KKW Beznau, Gösgen und Leibstadt. In der Vergangenheit wurden rund 1'139 t abgebrannte Brennelemente[19] wiederaufgearbeitet. Alle damit verbundenen Abfälle wurden in die Schweiz zurückgeführt und werden derzeit im Zwischenlager (Zwilag) gelagert (siehe auch Kapitel 4.2.5). Es wird keine weitere Wiederaufarbeitung berücksichtigt, da das Kernenergiegesetz (Art. 9 KEG) seit 2018 die Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen verbietet. In Tab. 4-1 ist das erwartete Abfallinventar an Brennelementen (auf der Grundlage des Szenarios «60 Jahre Betrieb KKW») aufgeführt. Die Tabelle enthält für jedes KKW und jeden Brennstofftyp Angaben zur voraussichtlichen Anzahl abgebrannter Brennelemente. Gesamthaft wird von 12'448 Brennelementen oder 2'929 tU ausgegangen (Nagra 2021).

[19] [tU], Tonnen Uran/Schwermetall, bezogen auf das Ausgangs-Inventar neuer Brennelemente

Tab. 4-1: Anzahl und Typ der pro KKW berücksichtigten Brennelemente in MIRAM-RBG

| | **$UO_2$** | **MOX** | **Total** |
|---|---|---|---|
| Beznau (KKB) | 1'569 | 232 | 1'801 |
| Gösgen (KKG) | 1'612 | 148 | 1'760 |
| Leibstadt (KKL) | 7'710 | 0 | 7'710 |
| Mühleberg (KKM) | 1'177 | 0 | 1'177 |
| Total | 12'068 | 380 | 12'448 |

Die Eigenschaften des abgebrannten Brennstoffs ändern sich während der Bestrahlung im Reaktorkern durch die stattfindenden Kernspaltungs- und Zerfallsprozesse, aber auch nach der Entladung aus dem Reaktor (primär durch den radioaktiven Zerfall). Daher ändert sich auch das aus dem Brennstoff und dem Strukturmaterial resultierende radiologische Inventar der Brennelemente über deren Einsatz- und Abklingzeit. Das radiologische Inventar der Brennelemente und der Strukturkomponenten, das sich aus dem 60-jährigen Betriebsszenario der KKW ergibt, wird möglichst realistisch charakterisiert. Hierfür müssen die geometrischen und materiellen Eigenschaften (Dichten, Massen) der verschiedenen Brennelement-Komponenten als Eingabedaten für die anschliessende Analyse der Nuklidaktivitäten erhoben werden.

In MIRAM-RBG wird diese sehr detaillierte Charakterisierung mittels anschliessender Gruppierung des gesamten schweizerischen BE-Bestands in sechs verschiedene Abfallgebindetypen, die Referenzgebinde, überführt. Die Gruppierung beruht auf dem Typ des KKW und des Brennstoffs. Die sechs Abfallgebindetypen basieren somit auf den durchschnittlichen Merkmalen eines Brennelements der sechs Gruppen KKG-$UO_2$, KKG-MOX, KKB-$UO_2$, KKB-MOX, KKL-$UO_2$ und KKM-$UO_2$.

Die Inventarberechnungen werden mit dem nuklearen Modellierungs- und Simulationscodesystem SCALE (Wieselquist et al. 2020, Version 6.2.3) durchgeführt; dieses System wird international für die Analyse und Auslegung kerntechnischer Systeme verwendet. Die benötigten nuklearen Daten basieren auf aktuellen und für reaktorphysikalische Berechnungen und Leichtwasserreaktoren-Analysen empfohlenen Datenbanken (Wieselquist et al. 2020).

Das berechnete Aktivitätsinventar für das Referenzgebinde jedes der sechs Abfallgebindetypen basiert auf dem arithmetischen Mittel der einzelnen Inventare aller für den Typ berücksichtigten Brennelemente. Das heisst, dass das Inventar jedes einzelnen Brennelements anhand numerischer Simulationen und unter Berücksichtigung seiner individuellen Bestrahlungsgeschichte bestimmt wird. Anschliessend erfolgt die Mittelwertbildung zur Ermittlung der Eigenschaften der sechs Referenzgebinde.

Bei der Berechnung der Nuklidinventare der einzelnen Brennelemente werden jeweils drei Brennelement-Bereiche separat berücksichtigt:

- der Brennstoff selbst
- der aktive Teil des Brennelements, also das Hüllrohr zusammen mit den Strukturmaterialien wie Abstandshaltern im aktiven Teil des Brennelements (aktive Länge in Fig. 4-5)
- sowie der nicht-aktive Teil, d.h. die oberen und unteren Strukturteile des Brennelements (BE-Kopf und -Fuss)

Das Gesamtinventar jedes Abfallgebindetyps wird daher in diese drei Brennelement-Bereiche aufgeteilt, die gleichzeitig die Hauptkomponenten eines BE darstellen. Die Aufteilung dient dazu,

sowohl den rechnerischen Ansatz als auch die Beschreibung des Inventars in MIRAM-RBG zu erleichtern. Einerseits lässt sich so das Brennstoffinventar, isoliert von den übrigen BE-Komponenten, in individuellen Brennelementberechnungen bestimmen. Andererseits hängt das aus den Strukturmaterialien resultierende radiologische Inventar stark von der unterschiedlichen Bestrahlungsintensität ab, der die Komponenten im Einzelnen ausgesetzt waren. Diese Strahlungsintensität ist insbesondere in axialer Richtung entlang des gesamten Brennelements variabel. Aus diesem Grund sind die Strukturmaterialien in zwei Zonen unterteilt; dies sind der aktive und der nicht-aktive Teil (siehe Fig. 4-5). Zudem erleichtert die Aufteilung des Inventars in Brennstoff (d. h. Inventar eingebunden in die keramischen Uran- bzw. Mischoxide) und Strukturmaterialien (d. h. Inventar eingebunden in Metalle) die Nutzung der MIRAM-RBG-Daten in der Sicherheitsanalyse für das geologische Tiefenlager. So können z. B. unterschiedliche materialbezogene Freisetzungsmechanismen direkt berücksichtigt werden.

Die für die Durchführung individuellen Brennelementberechnungen erforderlichen Eingabedaten wurden von den KKW im Rahmen des Entsorgungsprogramms EP21 und der Kostenstudie 2021 (KS21, swissnuclear 2021) zur Verfügung gestellt. Diese Daten wurden zusammengeführt, sodass für jedes Brennelement entsprechende Informationen über dessen Eigenschaften, Typ, zyklusspezifische Bestrahlungsgeschichte und Identifikationsnummer des zugehörigen Transport- und Lagerbehälters (TLB) vorliegen.

### 4.2.5 Wiederaufarbeitungsabfälle

Das schweizerische Inventar der Wiederaufarbeitungsabfälle (WA) umfasst verschiedene Abfalltypen, die bei der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen entstehen. In der Regel werden die durch die Wiederaufarbeitung gewonnenen Plutonium- und Uranmengen zur Herstellung neuer Brennelemente weiterverwendet, während die sonstigen Bestandteile der Brennelemente weiter konditioniert und verpackt werden.

Bis 2003 stand den schweizerischen Kernkraftwerkbetreibern sowohl die Wiederaufarbeitung als auch die Entsorgung der Brennelemente in einem geologischen Tiefenlager zur Wahl. Die Wiederaufarbeitung der abgebrannten Brennelemente erfolgte in speziellen Anlagen in Frankreich (La Hague) und in Grossbritannien (Sellafield).

Die Vereinbarung zwischen den schweizerischen Kernkraftwerksbetreibern und den beiden Wiederaufarbeitungsunternehmen[20] umfassten rund 1'200 tU[21] in Form abgebrannter Brennelemente. Insgesamt wurden 1'139 tU aus der Schweiz zu den Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich und Grossbritannien transportiert (ENSI 2020).

Im Jahr 2003 beschloss das schweizerische Parlament ein zehnjähriges Moratorium bezüglich der Ausfuhr abgebrannter Brennelemente zur Wiederaufarbeitung, das im Juli 2006 in Kraft trat. Im Juli 2016 wurde das Moratorium durch einen Parlamentsbeschluss um weitere vier Jahre bis zum 30. Juni 2020 verlängert. Ein Verbot der Wiederaufarbeitung wurde dann im Rahmen der Energiestrategie 2050 beschlossen.

Die bei der Wiederaufarbeitung im Ausland angefallenen radioaktiven Abfälle (siehe Tab. 4-2) wurden im Rahmen von Transportkampagnen über mehrere Jahre hinweg in die Schweiz zurückgeführt und werden derzeit im zentralen Zwischenlager Zwilag zwischengelagert. Die letzten Transporte fanden 2016 statt. Aufgrund des Wiederaufarbeitungsverbots ist dieser Abfallstrom abgeschlossen, und es werden keine weiteren Wiederaufarbeitungsabfälle in die Schweiz geliefert.

---

[20] «AREVA NC» in Frankreich, ehemals «COGEMA» und heute zur «ORANO»-Gruppe gehörend, und «Sellafield Ltd.», ehemals «BNFL» in Grossbritannien

[21] Uran/Schwermetall, bezogen auf die Masse in frischen Brennelementen vor Einsatz im Reaktor

Die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente ist ein standardisiertes und fest etabliertes industrielles Verfahren. Dementsprechend sind auch die bei diesem Prozess anfallenden Abfalltypen weitgehend standardisiert, z. B. in Bezug auf das wesentliche Material- und Nuklidinventar sowie die Bandbreite der Parameterwerte. Durch die Betreiber der beiden Wiederaufarbeitungsanlagen standen umfangreiche Dokumentationen zu Verfügung. Diese ermöglichten es, klar definierte Abfallgebindetypen zu erstellen.

Zur Beschreibung und Charakterisierung wurden vier Abfallgebindetypen definiert:

- J-Z-003000 (CSD-C): kompaktierte Brennelement-Hüllrohre und -Endstücke, die in La Hague verarbeitet wurden
- J-Z-003003 (CSD-B): verglaste sekundäre Wiederaufarbeitungsabfälle, die in La Hague entstanden sind
- J-Z-005000 (CSD-V): verglaste hochaktive Abfälle aus La Hague
- J-Z-005002 (VR-SL): verglaste hochaktive Abfälle aus Sellafield

Die ersten beiden Typen, CSD-B und CSD-C, fallen unter die KEV-Kategorie ATA, die anderen beiden Typen, CSD-V und VR-SL, fallen unter die KEV-Kategorie HAA.

Die Abfälle des Typs CSD-C bestehen aus den Strukturteilen der aufgearbeiteten Brennelemente sowie sogenannten technologischen Abfällen. Diese technologischen Abfälle stammen aus den ausgedienten Ausrüstungsteilen und Materialien, die für die Prozessdurchführung und die Wiederaufarbeitung der abgebrannten Brennelemente vor Ort verwendet wurden. Unter den Brennelement-Strukturteilen sind die in kleinere Stücke zerschnittenen Zirkaloy-Brennstab-Hüllrohre, die in direktem Kontakt mit den radioaktiven Uranpellets standen, sowie weitere Metallteile, die vor allem für die strukturelle Integrität und Handhabbarkeit des Brennelements erforderlich waren. Ein CSD-C-Einzelgebinde kann eine der beiden Abfallarten (Strukturteile bzw. technologische Abfälle) oder eine Mischung aus beiden in beliebigem Verhältnis enthalten.

Die CSD-B-Gebinde beinhalten verglaste Rückstände von Abwässern, die bei den Spülvorgängen nach der endgültigen Stilllegung der Anlage («UP2-400») in La Hague entstanden sind.

Die CSD-V-Abfälle umfassen folgende Bestandteile: Spaltproduktlösungen, Klärschlämme und alkalische Lösungen. Darüber hinaus werden bestimmte Zusatzstoffe und Verfestigungsmaterialien eingeführt, um die erforderliche Glaszusammensetzung zu gewährleisten. Bei den Spaltproduktlösungen handelt es sich um Konzentrate, die bei der Verdampfung von Lösungen entstehen, die hauptsächlich aus der Spaltproduktextraktion stammen. Die Klärschlämme fallen nach der Brennstoffauflösung an, indem die säurehaltige Brennstofflösung durch Zentrifugieren geklärt wird, um alle ungelösten Brennstoff- und Hüllrohrfragmente zu entfernen. Es entstehen auch alkalischen Lösungen, die hauptsächlich Produkte aus der ersten Spaltproduktextraktion und aus der Plutoniumreinigung enthalten.

Die VR-SL-Abfälle umfassen folgende Abfallbestandteile: Spaltproduktoxide, Aktinidenoxide, Brennstoffadditive, Prozesszusatzstoffe, Hüllrohre und Korrosionsprodukte. Diese Abfallkomponenten stammen aus den verschiedenen in Sellafield betriebenen Wiederaufarbeitungsanlagen («Thermal Oxide Reprocessing Plant» und «Magnox Separation Plant B205»). In Sellafield wurden auch Brennelemente für die im Vereinigten Königreich betriebenen «Advanced Gas Cooled Reactors» (AGR)- und Magnox-Reaktoren wiederaufgearbeitet. Die verglasten Einzelgebinde enthalten eine spezifizierte Mischung all dieser Abfälle.

Alle vier Typen an Wiederaufarbeitungsabfällen wurden in 180-l-Metallflaschen, sogenannten Kokillen, aus Edelstahl konditioniert (siehe Fig. 5-1). Alle Kokillen wurden mit ähnlichen Abmessungen hergestellt: Sie sind ca. 1.3 m hoch, haben einen Durchmesser von 43 cm und die Wandstärke liegt je nach Abfallart in der Grössenordnung von 5 – 10 mm.

Tab. 4-2: Anzahl der Einzelgebinde mit Wiederaufarbeitungsabfällen, geordnet nach Abfallgebindetyp

Aufgrund des Verbots der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen ist dieser Abfallstrom abgeschlossen und es werden keine weiteren Abfallgebinde produziert bzw. in die Schweiz geliefert.

| AGT | Anzahl Einzelgebinde |
|---|---|
| J-Z-003000 (CSD-C) | 532 |
| J-Z-003003 (CSD-B) | 20 |
| J-Z-005000 (CSD-V) | 436 |
| J-Z-005002 (VR-SL) | 196 |

Die Grundlage für die in MIRAM erfassten Informationen wie die Materialzusammensetzung der einzelnen Wiederaufarbeitungsabfälle, das Nuklidinventar etc. wurden von den beiden Herstellern in Frankreich und in Grossbritannien in Form von technischen Spezifikationen und Beschreibungen der Einzelgebinde bereitgestellt, die bei jedem Rücktransport in die Schweiz mitgeliefert wurden.

Das von den Wiederaufarbeitungsanlagen bereitgestellte Nuklidinventar wurde für die AGT J-Z-003003, J-Z-005000 und J-Z-005002 erweitert, da Aktivitätsabschätzungen mehrerer Nuklide, die insbesondere für die Langzeitsicherheitsanalyse relevant sind, zusätzlich benötigt wurden. Hierzu wurden für durch die Hersteller spezifizierte repräsentative Brennelemente und deren Bestrahlungsparameter Berechnungen mit dem ORIGEN-Code des SCALE-Paketes durchgeführt (vergleiche Kapitel 4.2.4). Diese Berechnungen wurden zur Ergänzung der Nuklidinventare herangezogen.

Die in MIRAM-RBG erfassten nuklidspezifischen Aktivitäten wurden durch Berechnung des arithmetischen Mittels über die jeweiligen Einzelgebinde der Abfallgebindetypen ermittelt.

### 4.2.6 Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung

Die Betriebsabfälle aus dem Bereich Medizin, Industrie und Forschung setzen sich zusammen aus:

- im Auftrag des BAG gesammelten Abfällen (aus Medizin und Industrie)
- Abfällen des PSI (PSI-Ost inkl. aus der Brennstoffforschung im «Hotlabor»)
- Abfällen aus dem Betrieb der Beschleunigeranlagen des PSI-West
- Abfällen aus den Beschleunigeranlagen des CERN.

Beispiele verschiedener Einsatzgebiete und radioaktiver Materialien aus Industrie, Medizin und Forschung sind in Fig. 4-6 gezeigt.

Abfälle aus Medizin und Industrie fallen bei Produktion und Nutzung radioaktiver Stoffe an. In der Medizin werden Radionuklide und Strahlungsquellen zur Bildgebung und Behandlung z. B. von Krebs eingesetzt. In der Industrie werden Radionuklide und Strahlungsquellen hergestellt (u. a. für die Verwendung in der Medizin) und für spezifische Aufgaben eingesetzt, z. B. zur Füllstandsmessung in Tanks, zur Papierdickenmessung oder zur zerstörungsfreien Prüfung von Materialien, Rohrleitungen oder Schweissnähten.

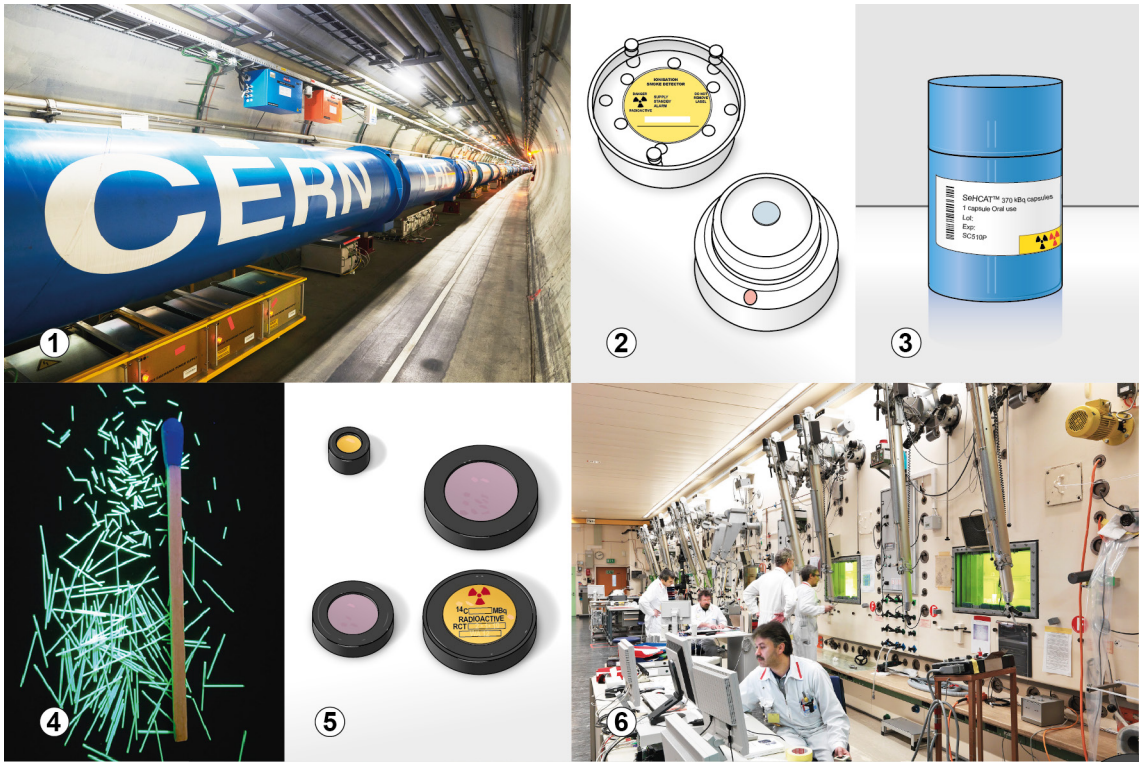



Fig. 4-6: Beispielhafte Zusammenstellung der Nutzung radioaktiver Materialien in Medizin, Industrie und Forschung

Bild 1: Dipolmagneten im Tunnel des CERN. © 2021 CERN. Foto: Hertzog, Samuel Joseph.
Bild 2: Illustration von Ionisationsrauchmeldern, in denen aufgrund ihres Funktionsprinzips radioaktive Stoffe verwendet wurden.
Bild 3: Illustration eines Medizinpräparats mit Label, verpackt für den Versand.
Bild 4: Trigalight ist eine Marke des Mikrotechnik-Unternehmens mb-microtec ag und steht für eine Selbstleuchttechnologie mit Tritiumgaslichtquellen. © mb-microtech ag
Bild 5: Die RC Tritec AG stellt ionisierende Quellen für verschiedene technische Anwendungen im Alltag her. Vom Luftverschmutzungsmessgerät, über die Papierschichtdickenmessung bis hin zur Batterieproduktion finden sich in einer Vielzahl von Geräten und Produktionsprozessen ionisierende Quellen. © RC Tritec AG
Bild 6: Hotzellenkette zur Untersuchung von Kernbrennstäben und zur mechanischen Werkstoffbearbeitung und -prüfung. © PSI. Foto: Scanderbeg Sauer Photography.

Betriebsabfälle entstehen am PSI in den verschiedenen Forschungslaboren und bestehen z. B. aus nicht weiter verwendbarem und nicht dekontaminierbarem Laborgerät und Probenresten.

Betriebsabfälle aus den Beschleunigeranlagen des PSI-West und des CERN bestehen vor allem aus Targets, die zur Erzeugung spezifischer Teilchenstrahlen eingesetzt und regelmässig erneuert werden.

Die Inventarisierung der Abfälle aus dem BAG-Bereich basiert auf physischen Begleitkarten, die jeder Lieferant dem jeweiligen Abfall beifügt und in die alle bekannten Eigenschaften des Abfalls (z. B. Material- und Nuklidinventare) eingetragen werden.

Die Nuklidinventare aus der Brennstoffforschung am PSI sind abhängig von der Art des untersuchten Brennstoffs. Die Ermittlung der Nuklidinventare der Abfälle stützen sich auf den gleichen Methoden ab, wie in Kap. 4.2.4 für die abgebrannten Brennelemente beschrieben.

Die Inventarisierung der Betriebsabfälle der Beschleunigeranlagen basieren auf Berechnungen des PSI oder des CERN, deren Resultate in die entsprechenden Abfallspezifikationen eingeflossen sind.

Die Stilllegungsabfälle aus dem MIF-Bereich resultieren hauptsächlich aus der Stilllegung von

- Abfall-Behandlungsanlagen (z. B. Versuchsverbrennungsanlage, VVA, des PSI-Ost)
- den Forschungsreaktoren DIORIT, SAPHIR, PROTEUS (PSI-Ost)
- Beschleunigeranlagen aus der Teilchenforschung (PSI-West)

Für die Inventarisierung der Stilllegungsabfälle von Abfallbehandlungsanlagen (z. B. der Versuchsverbrennungsanlage) kommt die Methode der Korrelationsfaktoren (Kapitel 4.2.1, Fig. 4-1) zum Einsatz. Die Inventarisierung der aktivierten Komponenten der Forschungsreaktoren des PSI-Ost wird mit den in Kapitel 4.2.3 beschriebenen Methoden durchgeführt (Berechnung mit MCNP, SCALE).

Die Inventare für die Stilllegungsabfälle der Beschleunigeranlagen werden von den Betreibern geliefert; diese basieren im Wesentlichen auf Berechnungen (siehe Kapitel 4.2.3).

### 4.2.7 Abfälle des Zwilag und der OFA

Die Betriebsabfälle sowie die Stilllegungsabfälle des Zwilag und der Verpackungs- und Oberflächenanlagen des geologischen Tiefenlagers ähneln grösstenteils den Betriebsabfällen und kontaminierten Stilllegungsabfällen der Kernkraftwerke. Für die Inventarisierung dieser Abfälle kommt im Wesentlichen die Methode der Korrelationsfaktoren (Fig. 4-1) zum Einsatz. Zusätzlich werden – insbesondere für Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Brennelementverpackungsanlage – die Brennstoffinventare aus der Beschreibung abgebrannter Brennelemente (siehe Kapitel 4.2.4) berücksichtigt. Für die Inventarisierung der aktivierten Abfälle aus der Entsorgung der Transport- und Lagerbehälter für hochaktive Abfälle und Brennelemente werden Berechnungen, wie in Kapitel 4.2.3 beschrieben, genutzt.

# 5 Behältertypen und Zusatzverpackungen

## 5.1 Behältertypen

Die ENSI-Richtline B05 (ENSI 2007) stellt sicher, dass radioaktive Abfälle in geeigneten Behältern verpackt werden. Der Behälter ist über den Abfallgebindetyp (AGT) definiert (siehe auch Kapitel 2.2). Jedes Abfallgebinde muss einem solchen AGT zugeordnet sein, der zuvor durch den Abfallverursacher definiert und durch das ENSI genehmigt wurde (ENSI 2007) bzw. im Rahmen des modellhaften Inventars MIRAM durch die Nagra definiert wird. Die Behälterhülle bestimmt das sogenannte «konditionierte Volumen» eines Abfallgebindes.

Es gibt eine Vielzahl an unterschiedlichen Behältern, die sich z. T. grundsätzlich voneinander unterscheiden. Bei manchen Behältern sind die Unterschiede jedoch eher gering, wie z. B. für Behälter, die sich der Gruppe der 100-l-Fässer, der 200-l-Fässer und den sogenannten Kleinzylindern (für Abfälle des BAG) mit verschiedenen Geometrien und Fassungsvermögen zuordnen lassen. Diese Unterschiede sind klein genug, um entsprechende Behälter für nachfolgende Auswertungen auf Basis des MIRAM-RBG in sog. Behältertypen zusammenfassen zu können. Derzeit werden 18 Geometrien, also Behältertypen, unterschieden (siehe Fig. 5-1).[22]

Unverpackte Brennelemente sind genau genommen keine Behältertypen, da es sich nicht um konditionierte Gebinde gemäss ENSI-Richtline B05 handelt. In der technischen Handhabung des Inventars in MIRAM-RBG werden sie jedoch einfachheitshalber so geführt.

[22] In Fig. 5-1 sind die Grosscontainer GC-T24 und GC-T15/20 sowie die Zylinder PB-146 und PB-250 aus Platzgründen, und weil sie sich äusserlich nur im Volumen unterschieden, zusammengefasst.




Fig. 5-1: In der Schweiz verwendete Behältertypen

Unverpackte Brennelemente sind genau genommen keine Behältertypen, da es sich nicht um konditionierte Gebinde gemäss ENSI Richtline B05 handelt. In der technischen Handhabung des Inventars in MIRAM-RBG werden sie jedoch einfachheitshalber als Behältertyp geführt. Die Behälter sind nicht massstäblich dargestellt.

## 5.2 Zusatzverpackung für SMA/ATA

Im Sinne einer einfachen und sicheren Handhabung bei der Einlagerung der schwach- und mittelaktiven Abfälle sowie alphatoxischen Abfälle in das geologische Tiefenlager sollen nach derzeitigem Lagerkonzept ausschliesslich standardisierte Endlagerbehälter (ELB) verwendet werden. Die Anzahl unterschiedlich zu handhabender Endlagerbehälter soll verringert und damit die Prozesse bei der Verbringung untertage optimiert werden. Ein Teil der in Kapitel 5.1 erwähnten und in Fig. 5-1 dargestellten Behältertypen erfüllt bereits zum Zeitpunkt der Konditionierung der Abfälle die geforderten Kriterien an Endlagerbehälter. Alle anderen Behältertypen müssen jedoch vor der Einlagerung in das Tiefenlager in Endlagerbehältern zusatzverpackt werden. Oft können dabei mehrere Abfallbehälter eines Typs in einem einzelnen Endlagerbehälter verpackt werden. Fig. 5-2 zeigt beispielhaft die Verpackung von 200-l-Fässern in einen – noch modellhaften – Endlagerbehälter des Typs LC-86H. Es sollen je 12 Stück 200-l-Fässer in einem LC-86H eingestellt und der verbleibende Hohlraum mit Container-Verfüllmörtel ausgegossen werden. Die Geometrie des Endlagerbehälters bestimmt das sogenannte «verpackte Volumen» der Abfälle. Das Verpackungskonzept der SMA und ATA in Endlagerbehälter ist in Anhang A zusammengefasst.



Fig. 5-2: Verpackung von 12 Stück 200-l-Fässern in einem modellhaften LC-86H

## 5.3 Zusatzverpackung für HAA

Für die Handhabung und Einlagerung von hochaktiven Abfällen sind – derzeit noch modellhaft – speziell konzipierte, dickwandige Endlagerbehälter aus Metall vorgesehen, die gasdicht verschweisst werden. Das ELB-Konzept berücksichtigt sicherheitstechnische Anforderungen hinsichtlich Betriebs- und Langzeitverhalten[23].

Für Brennelemente sieht das Endlagerbehälterkonzept in MIRAM-RBG zwei Behältertypen für Brennelemente mit ähnlichen geometrischen Merkmalen vor. Ein Behältertyp ist zur Aufnahme von maximal vier Druckwasserreaktor-Brennelementen vorgesehen, der zweite Behältertyp zur Aufnahme von maximal zwölf Siedewasserreaktor-Brennelementen. Eine vereinfachte schematische Darstellung (nicht massstabsgetreu) der Brennelement-Endlagerbehälter ist in Fig. 5-3 zu sehen, wo ein Querschnitt die Unterschiede zwischen den beiden BE-Typen und den entsprechend angepassten, inneren Tragkörben verdeutlicht.

Für das Konzept der Endlagerung hochaktiver Abfälle, wie es im Rahmenbewilligungsgesuch exemplarisch implementiert ist, ergibt sich als sicherheitstechnische Anforderung eine maximale Wärmeleistung der Endlagerbehälter. Dieses Wärmekriterium erfordert, um die Anzahl der Endlagerbehälter so gering wie möglich zu halten, eine optimierte Zuordnung der abgebrannten Brennelemente zu den einzelnen Endlagerbehältern. Für eine optimale Beladung werden die Endlagerbehälter mit abgebrannten Brennelementen zumeist unterschiedlicher Wärmeleistungen befüllt werden. In Summe muss die Wärmeleistung der Brennelemente in einem Endlagerbehälter kleiner oder gleich der Vorgabe für die maximale Wärmeleistung der Behälter sein.

Die optimale Verpackungslösung für die Brennelemente wird mit einem intern entwickelten Optimierungstool zur Brennelementbeladung namens SIMAN (Vlassopoulos et al. 2017) ermittelt. SIMAN berücksichtigt die Merkmale der Verpackungsanlage (d. h. die Anzahl der geplanten Stationen für Transport- und Lagerbehälter und Endlagerbehälter, die Anzahl der jährlich zu beladenden Endlagerbehälter, usw.), die individuelle Wärmeleistung in jedem Betriebsjahr jedes Brennelements und die eindeutige Zugehörigkeit zu einem entsprechenden Transport- und Lagerbehälter. Anschliessend berechnet SIMAN eine optimale Gesamt-Beladestrategie, um die Anzahl der für die Entsorgung aller Brennelemente erforderlichen Endlagerbehälter zu minimieren. Unter den Randbedingungen des MIRAM-RBG werden insgesamt 1'930 Endlagerbehälter (ca. 54 % Behälter für Druckwasser-Brennelemente und 46 % Behälter für Siedewasser-Brennelemente) berücksichtigt[24], um alle Brennelemente optimal zu verpacken.

Für hochaktive Wiederaufarbeitungsabfälle ist ein Endlagerbehälter vorgesehen, der hinsichtlich des Designs und der Materialien den Endlagerbehältern für abgebrannte Brennelemente ähnelt (siehe Fig. 5-4). Die Wärmeleistung der Wiederaufarbeitungsabfälle wird zum Zeitpunkt der Entsorgung im geologischen Tiefenlager so gering sein, dass jeweils drei 180-l-Kokillen aus der Wiederaufarbeitung in einen Endlagerbehälter verpackt werden können.

Das Verpackungskonzept der HAA in Endlagerbehälter ist in Anhang A zusammengefasst.

---

[23] Die sichere Handhabbarkeit unter Transportbedingungen wird durch einen zusätzlichen Transportbehälter garantiert.

[24] Dies entspricht der Anzahl und damit dem resultierenden verpackten Abfallvolumen für Brennelemente, das auch im Entsorgungsprogramm EP21 berücksichtigt wurde.



Fig. 5-3: Schematische Darstellung (nicht massstabsgetreu) der Endlagerbehälter für maximal 12 SWR-BE (links) und für maximal 4 DWR-BE (rechts)

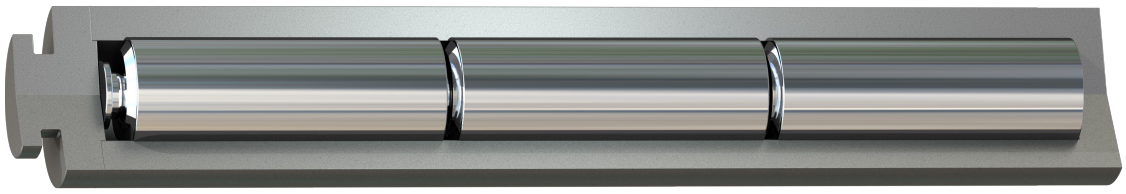


Fig. 5-4: Schematische Darstellung der Endlagerbehälter für drei 180-l-Kokillen aus der Wiederaufarbeitung (KEV-Kategorie HAA)

# 6 Abfallsorten

MIRAM-RBG umfasst 652 Abfallgebindetypen (Kapitel 2.6). Für gewisse Fragestellungen und für einen raschen Überblick kann es von Vorteil sein, den Detaillierungsgrad, der sich aus der grossen Anzahl der AGT ergibt, zu verringern. Dafür werden Abfallgebindetypen mit gleichen Kategorisierungen zu Abfallsorten gruppiert.

## 6.1 Systemübersicht

Folgende Kriterien zur Kategorisierung werden als Kriterien für die Gruppierung von ähnlichen Abfallgebindetypen zu einer Abfallsorte verwendet:

- Kategorie nach Prozessschritt (siehe Kapitel 3.2)
- Kategorie nach Abfallherkunft (siehe Kapitel 3.4)
- Kategorie nach Rohabfall (siehe Kapitel 3.5)
- Kategorie nach Behältertyp (siehe Kapitel 3.6)[25]
- Kategorie nach KEV (Kapitel 3.1)

Abfallsorten werden über die Kürzel der Attribute der Kategorien dieser fünf Kriterien (siehe Tab. 6-1) identifiziert, welche in der zuvor genannten Reihenfolge zusammengefügt werden, jeweils durch ein Minuszeichen voneinander getrennt. Ein Betriebsabfall des Kernkraftwerks Leibstadt mit zementierten Harzen in einem 200-l-Fass der KEV-Kategorie «SMA» wird demnach mit «BA-L-H-F2-SMA» bezeichnet.

Die Gruppierung der 652 in MIRAM-RBG enthaltenen Abfallgebindetypen ergibt 159 Abfallsorten. In Anhang B sind alle Abfallsorten aus MIRAM-RBG mit einigen primären Kenndaten aufgelistet.

In Analogie zum repräsentativen Gebinde eines Abfallgebindetypen (siehe Kapitel 2.5.3) werden die Kenndaten und Eigenschaften jeder Abfallsorte durch ein repräsentatives Gebinde der Abfallsorte beschrieben[26]. Die Produktionsstatistik des repräsentativen Gebindes einer Abfallsorte ergibt sich aus der Summe der Produktionsstatistiken der beteiligten AGT. Zur Definition der Eigenschaften eines repräsentativen Gebindes einer Abfallsorte werden die Eigenschaften der repräsentativen Gebinde der involvierten AGT gemittelt, jeweils gewichtet nach ihrem Anteil an der totalen Anzahl von Gebinden der Abfallsorte.

---

[25] Im Vergleich zu den in Kapitel 5.1 präsentierten Behältertypen, basierend auf Geometrien, wird hier noch weiter diskretisiert, siehe Tab. 6-1.

[26] Hier muss angemerkt werden, dass für Abfallsorten kein Referenzgebinde definiert wird.

Tab. 6-1: Auflistung aller von MIRAM-RBG benutzten Kriterien und zugehörigen Kategorien in der Bildung der Abfallsorten (ohne Kategorie nach KEV, siehe dazu Kapitel 3.1)

| **Prozessschritt** | | **Abfallherkunft** | | **Rohabfall** | | **Behältertyp** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BA | Betriebsabfälle | B | Beznau | AF | Asche & Filter von PV | B1 | Betoncontainer [1 $m^3$] |
| BE | Brennelemente | C | CERN | B | Beton | B2 | Betoncontainer Sogefibre [1.2 $m^3$] |
| RA | Reaktorabfälle | F | WA Frankreich | F | Filterkerzen | C1 | Kleincontainer KC-T12/30 [4.5 $m^3$] |
| SA | Stilllegungs-abfälle | G | Gösgen | H | Harze zementiert | C2 | Grosscontainer GC-T24 [16 $m^3$] |
| WA | Wiederauf-arbeitungsabfälle | L | Leibstadt | HB | Harze bituminiert | C3 | Grosscontainer GC-T15/20 [18 $m^3$] |
| | | LU | Lucens | HP | Harze in Polystyrol | F1 | Fass [100 – 130 Liter] |
| | | M | Mühleberg | K | Konzentrate zementiert | F2 | Fass [200 –-225 Liter] |
| | | OH | Oberflächenanlage HAA | KB | Konzentrate bituminiert | K1 | Kokille WA-HAA [180 Liter] |
| | | OS | Oberflächenanlage SMA | KG | Konzentrate verglast | K2 | Kokille WA-ATA [180 Liter] |
| | | P | PSI – Herkunft nicht spezifiziert | MA | Aluminium | L3 | Lagerbehälter LC-84 [6.3 $m^3$] |
| | | PB | PSI – BAG | MC | Kupfer | L4 | Lagerbehälter LC-86 [9.4 $m^3$] |
| | | PD | PSI – Diorit | ME | Edelstahl | M2 | Mosaik-II-Behälter [1.3 $m^3$] |
| | | PH | PSI – Hotlabor | MOX | MOX Brennelemente | UB | Unverpacktes Brennelement KKB |
| | | PP | PSI – Proteus | MS | Stahl | UD | Brennstab UO2 PSI-Diorit |
| | | PS | PSI – Saphir | MX | Metalle gemischt | UG | Unverpacktes Brennelement KKG |
| | | PV | Pilot-Verbrennungs-anlage | PA | Schlacke/Metalle Plasma Anlage | UL | Unverpacktes Brennelement KKL |
| | | PW | PSI West | PF | Plutoniumhaltige Festabfälle | UM | Unverpacktes Brennelement KKM |
| | | TB | TLB-BHA | PL | Plutoniumhaltige Lösungen | Z2 | Zylinder AERA [225 Liter] |
| | | U | WA England | S | Schlämme | Z4 | Zylinder BAG [1.4 Liter] |
| | | Z | Zwilag | SF | Spezielle Forschungsabfälle | Z5 | Zylinder BAG [3.6 –5.2 Liter] |
| | | | | SG | Schlämme verglast | Z6 | Zylinder BAG [7.1 – 10.3 Liter] |
| | | | | U | Uran | Z7 | Zylinder BAG [24.5 Liter] |
| | | | | UO2 | UO2 Brennelemente | Z8 | Pressbüchse Hotlabor [14.3 Liter] |
| | | | | X | Mischabfall | Z9A | Pressbüchse Hotlabor (ATA) [43.7 Liter] |
| | | | | | | Z9H | Pressbüchse Hotlabor (HAA) [43.7 Liter] |

## 6.2 Abfallsortenreports

Abfallsortenreports fassen die wichtigsten Daten einer Abfallsorte und des zugehörigen repräsentativen Gebindes zum gewählten Referenzjahr zusammen. Durch die Zusammenstellung auf Abfallsortenbasis ist somit eine gute Übersicht über das gesamte Abfallmengengerüst und die Inventare des geologischen Tiefenlagers für das RBG verfügbar.

Für jede der insgesamt 159 Abfallsorten in MIRAM-RBG wird ein Report erstellt. In Anhang C sind diverse Beispiele von Abfallsortenreports dargestellt und in der elektronischen Beilage des vorliegenden Berichts sind alle Abfallsortenreports verfügbar. Folgende Informationen sind in den Reports enthalten:

- Referenzjahr
- Abfallsortenkürzel und Bezeichnung
- Kenndaten des repräsentativen Gebindes
  - schematische Darstellung des Behältertyps
  - Grunddaten des repräsentativen Gebindes
  - enthaltene AGT mit jeweiliger Anzahl von Einzelgebinden
  - Materialdaten
  - radiologische Daten

Die Kenndaten werden im Folgenden genauer erläutert. Zusätzlich ist in Anhang C ein detailliert beschriebenes Beispiel aufgeführt.

### 6.2.1 Grunddaten

Für jede Abfallsorte sind folgende Grunddaten ihres repräsentativen Gebindes im Bericht aufgeführt:

- Kategorie nach Prozessschritt (siehe Kapitel 3.2)
- Kategorie nach Abfallherkunft (siehe Kapitel 3.4)
- Kategorie nach Rohabfall (siehe Kapitel 3.5)
- Kategorie nach Behältertyp (siehe Kapitel 3.6)
- Behälterform (Zylinder oder Quader)
- Behälterdimensionen (Höhe + Länge/Breite oder Durchmesser)
- Aussenvolumen des repräsentativen Gebindes (die zeitliche Entwicklung des kumulierten Gesamtvolumens der Abfallsorte wird zusätzlich graphisch dargestellt, siehe Kapitel 6.2.4)
- Masse des repräsentativen Gebindes
- Auflistung der AGT, welche die Abfallsorte bilden, mit der jeweiligen Anzahl von Einzelgebinden

### 6.2.2 Materialdaten

Für jede Abfallsorte wird die Gesamtmasse des repräsentativen Gebindes als gewichteter Mittelwert über die Einzelmassen der repräsentativen Gebinde der involvierten AGT ausgewiesen. Zusätzlich erfolgt eine Aufschlüsselung der Materialmasse nach Gebindekomponenten (Abfallprodukt, Behälter, Füllmaterial, Einbauten und Leerraum) und hinsichtlich der für die Sicherheitsanalyse relevanten Klassifizierung in organische, anorganische (nichtmetallische) und metallische Stoffe.

In einer weiteren Tabelle erfolgen Angaben zu den Oberflächen-zu-Massen-Verhältnissen für korrosionssensitive Metalle.

Die Materialdaten im Abfallsortenreport beziehen sich auf den Zustand des Abfallgebindes vor einer allfälligen Verpackung in Endlagerbehälter für die Entsorgung im geologischen Tiefenlager (siehe Kapitel 5.2 und 5.3). Ergänzende Materialdaten als Folge einer Verpackung in Endlagerbehälter werden als Grundlage der Sicherheitsanalysen separat aus MIRAM-RBG ermittelt (und sind hier nicht dargestellt).

### 6.2.3 Radiologische Kenndaten

Das Nuklidinventar des Gebindes bezieht sich auf das angegebene Referenzjahr. Die Inventare beruhen auf den mittleren Nuklidaktivitäten der repräsentativen Gebinde der zugehörigen Abfallgebindetypen. Diese sind jedoch abhängig von der Methode zur Charakterisierung und mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Die obere Bandbreite der Nuklidaktivität wird in der MIRAM-Terminologie als Maximalwert[27] bezeichnet und ist ebenfalls im Inventar angegeben.

In der Spaltstoffinventartabelle des Abfallsortenreports werden die Gesamtaktivitäten und zugehörigen Massen aller spaltbaren Nuklide aufgeführt. Zusätzlich wird die Dosisleistung infolge von Gamma-Strahlung und, sofern für die Abfallsorte relevant, auch von Neutronen-Strahlung an der Gebindeoberfläche angegeben.

Ausgehend vom Referenzjahr 2075 wird des Weiteren die Entwicklung der mittleren Gesamtaktivität und Wärmeleistung des Gebindes für einen Zeitraum bis zu einer Million Jahren dokumentiert.

Abschliessend sind Daten zur radiolytischen Gasproduktion aufgeführt. Für den Zeitraum von 100 Jahren ab dem Referenzjahr werden die radiolytische Gasproduktionsrate pro Jahr und die kumulierte Gasmenge des repräsentativen Gebindes angegeben.

### 6.2.4 Zeitliche Entwicklung

Am Ende des Reports wird die Gesamtzahl der Einzelgebinde der Abfallsorte mit dem dazugehörigen Gesamtvolumen angegeben. Zusätzlich wird die zeitliche Entwicklung des kumulierten Volumens über den Produktionszeitraum bis zum Referenzjahr grafisch dargestellt.

Zudem wird die zeitliche Entwicklung der Gesamtaktivität der Abfallsorte vom Beginn der Produktion bis 1 Million Jahre nach dem Referenzjahr aufgezeigt.

---

[27] Der Term «maximal» wird im Kontext der aus den Unsicherheiten resultierenden oberen Bandbreite zur Vereinfachung der Dokumentation herangezogen. Er darf nicht im Sinne eines oberen Eckwertes, d. h. echten Maximums, interpretiert werden.

# 7 Auswertung MIRAM-RBG

Nach der Zusammenführung der Informationen zu MIRAM-RBG lassen sich diverse Analysen für das schweizerische Inventar radioaktiver Materialien erstellen. Die wichtigsten Auswertungen zu den Abfallvolumina sowie den Material- und Aktivitätsinventaren werden in den folgenden Kapiteln dargestellt und erläutert.

## 7.1 Abfallvolumen

In Tab. 7-1 ist das integrale Volumen des durch MIRAM-RBG beschriebenen Abfallinventars dargestellt. Die Angaben sind nach KEV-Kategorie und Kategorie nach Eigentümerschaft aufgeschlüsselt (siehe Kapitel 3).

Es wird zwischen zwei verschiedenen Volumina unterschieden. Zum einen gibt es das Gesamtvolumen der nach ENSI-Richtlinie B05 konditionierten Abfallgebinde, das sogenannte «konditionierte Volumen». Zum anderen gibt es das grössere «verpackte Volumen», welches nach der allfälligen Verpackung der Abfallgebinde in Endlagerbehälter (siehe Kapitel 5) vorliegt.

Tab. 7-1: Gesamtvolumen des Abfallinventars MIRAM-RBG ohne und mit Endlagerverpackung (letzteres in Klammern) in $m^3$, aufgeschlüsselt nach KEV-Kategorie und Kategorie gemäss Eigentümerschaft

Die mit «(KKW)» gekennzeichneten Kategorien beinhalten alle Abfälle (Betrieb und Stilllegung) der KKW, Zwilag und des Versuchsreaktors Lucens. Zusätzlich beinhaltet BA (KKW) die Abfälle der TLB-Entsorgung. In der Kategorie MIF sind alle Betriebs- und Stilllegungsabfälle aus Medizin, Industrie und Forschung enthalten. Unter OFA sind die Betriebs- und Stilllegungsabfälle der Verpackungsanlagen für SMA/ATA und HAA zu verstehen.

Die hier angegebenen Totale der exakten Volumina können vernachlässigbare Abweichungen zur Summe der gerundeten, einzelnen Volumina aufweisen[28].

| | | **Herkunft** | | | | | | | **Total** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **BE (KKW)** | **WA (KKW)** | **BA (KKW)** | **RA (KKW)** | **SA (KKW)** | **MIF** | **OFA** | |
| Kategorie nach KEV | HAA | 1'433 (8'895) | 115 (377) | | | | 3 (22) | | 1550 (9'295) |
| | ATA | | 99 (433) | | | 25 (25) | 165 (607) | | 288 (1'065) |
| | SMA | | | 10'994 (36'657) | 404 (1'629) | 21'449 (28'645) | 9'506 (15'119) | 219 (727) | 42572 (82'776) |
| | Total | 1'433 (8'895) | 213 (810) | 10'994 (36'657) | 404 (1'629) | 21'474 (28'670) | 9'673 (15'748) | 219 (727) | 44410 (93'135) |

[28] Die hier angegebenen Volumina unterscheiden sich teilweise von den im Entsorgungsprogramm 2021 (EP21) dargestellten Volumen (Nagra 2021). Unterschiede in den konditionierten Volumina resultieren z.B. aus den in MIRAM präziser erfassten individuellen Behältervolumen oder konkreter erfassten Abfallmengen wie denen des CERN. Unterschiede in den verpackten Volumina resultieren aus den Unterschieden der konditionierten Volumina, präziser erfassten Volumina der Endlagerbehälter und insbesondere dem gegenüber dem EP21 geänderten Verpackungskonzept von 200-l-Fässern durch den Vorschlag des Standortes der Verpackungsanlagen am Zwilag.

Fig. 7-1 illustriert den zeitlichen Zuwachs des Abfallvolumens von der Betriebsaufnahme KKB (1970 als ungefährer Mittelwert von KKB 1 und KKB 2) bis zum in Tab. 7-1 erreichten Gesamtinventar zum Referenzjahr 2075, also dem Zeitpunkt des Abschlusses der Einlagerung in das geologische Tiefenlager für HAA.

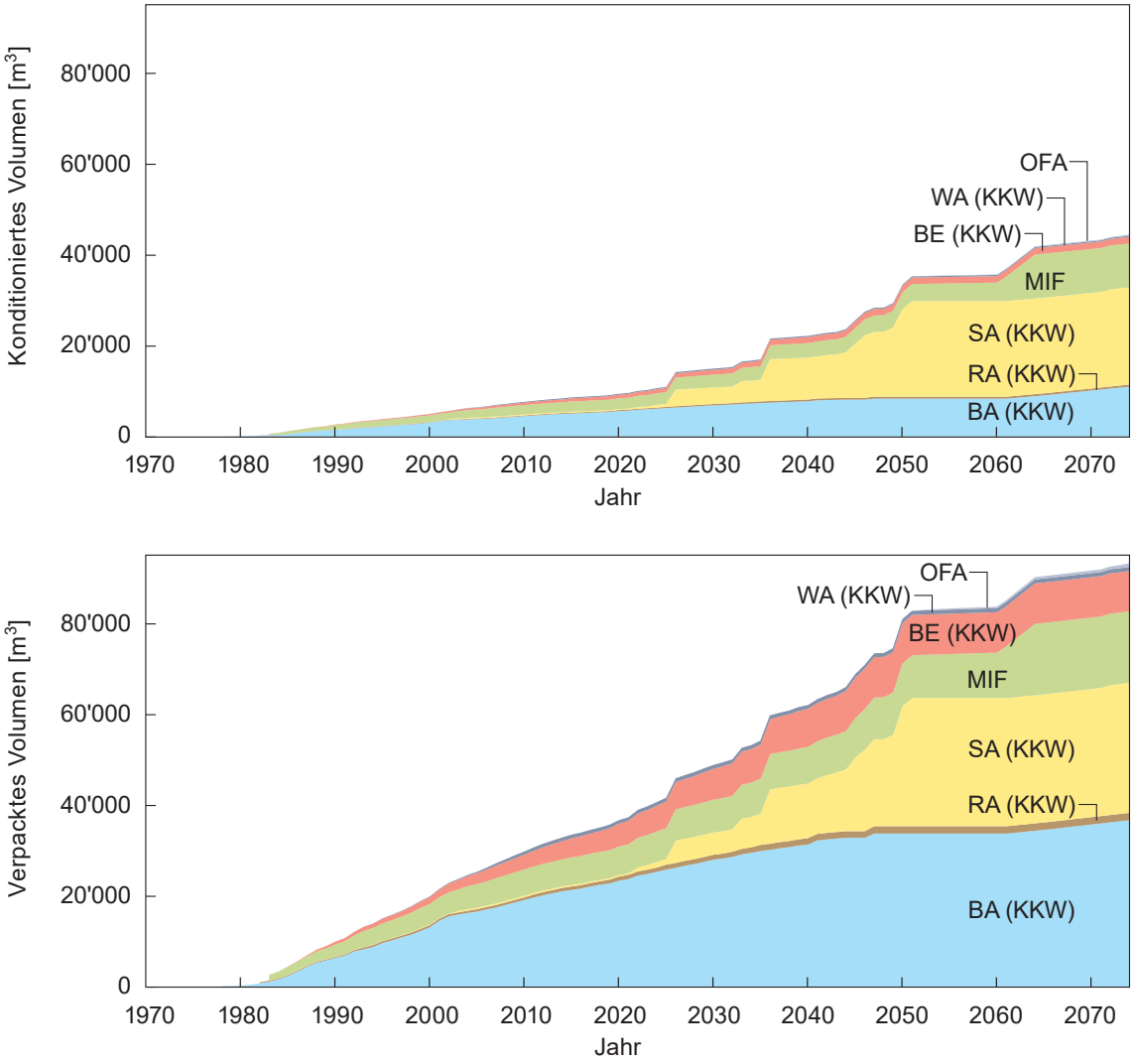



Fig. 7-1: Zeitliche Entwicklung der konditionierten und verpackten Volumina bis zum Referenzjahr 2075, aufgeschlüsselt nach Eigentümerschaft

Oben: Volumen der zwischenlagergerecht konditionierten Abfälle
Unten: Volumen der endlagergerecht verpackten Abfälle

## 7.2 Materialinventar

Nach Summierung aller einzelnen Materialinventare können die für das Tiefenlager prognostizierten Gesamtmengen nach diversen Kategorisierungen aufgeschlüsselt werden. In Tab. 7-2 und Tab. 7-3 sind jeweils die gesamte, im Referenzjahr 2075 vorliegende Materialmasse der Abfälle und die aus der Verpackung in Endlagerbehälter dazukommende Materialmasse zusammengefasst. Dabei wird zum einen nach den Kategorien nach KEV (mit zusätzlich der Summe SAM+ATA), zum anderen nach den Materialarten organisch, anorganisch (nichtmetallisch) und metallisch unterschieden (siehe Kapitel 4.1). Das gesamte Materialinventar des Abfalls in MIRAM-RBG zum Referenzjahr 2075 (exklusive Materialien aus Zusatzverpackungen), aufgeschlüsselt nach KEV-Kategorie und Standardmaterialien, ist in Anhang D gelistet.

Tab. 7-2: Gesamte Materialmasse von MIRAM-RBG in Tonnen, aufgeschlüsselt nach KEV-Kategorien (horizontal) und Materialart (vertikal)

Es wird zwischen den drei Materialarten Organika, Anorganika und Metalle unterschieden. Zusätzliche Materialien aus der Verpackung in Endlagerbehälter sind nicht enthalten.

Die hier angegebenen Totale der exakten Materialmassen können vernachlässigbare Abweichungen zur Summe der gerundeten, einzelnen Materialmassen aufweisen.

| | SMA | ATA | SMA + ATA | HAA | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| **Anorganika** | 71'460 | 317 | 71'776 | 3'576 | 75'352 |
| **Metalle** | 38'294 | 524 | 38'818 | 1'371 | 40'189 |
| **Organika** | 2'497 | 18 | 2'514 | 3E-2 | 2'514 |
| **Total** | **112'251** | **858** | **113'109** | **4'946** | **118'055** |

Tab. 7-3: Zusätzliche Materialmassen aus der Verpackung der Abfälle in Endlagerbehälter in Tonnen, aufgeschlüsselt nach KEV-Kategorien (horizontal) und Materialart (vertikal)

Es wird zwischen den drei Materialarten Organika, Metallen und Anorganika unterschieden.

Die hier angegebenen Totale der exakten Materialmassen können vernachlässigbare Abweichungen zur Summe der gerundeten, einzelnen Materialmassen aufweisen.

| | SMA | ATA | SMA + ATA | HAA | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| **Anorganika** | 78'974 | 1'547 | 80'521 | 3 | 80'524 |
| **Metalle** | 3'264 | 98 | 3'363 | 42'340 | 45'703 |
| **Organika** | 68 | 2 | 71 | 0 | 71 |
| **Total** | **82'306** | **1'648** | **83'954** | **42'343** | **126'298** |

## 7.3 Aktivitätsinventar

Die summierten Aktivitäten des durch MIRAM-RBG beschriebenen Abfallinventars sind in Tab. 7-4 für das Jahr 2075 zusammengefasst. Es wird dieselbe Aufschlüsselung wie in Kapitel 7.1 benutzt. Das gesamte Nuklidinventar von MIRAM-RBG zum Referenzjahr, aufgeschlüsselt nach KEV-Kategorie und Nuklid, kann in Anhang E eingesehen werden.

Tab. 7-4: Summierte Aktivitäten des MIRAM-RBG-Abfallinventars in Bq zum Referenzjahr 2075

Die mit «(KKW)» gekennzeichneten Kategorien beinhalten alle Abfälle (Betrieb und Stilllegung) der KKW, Zwilag und des Versuchsreaktors Lucens. Zusätzlich beinhaltet BA (KKW) die Abfälle der TLB-Entsorgung. In der Kategorie MIF sind alle Betriebs- und Stilllegungsabfälle aus Medizin, Industrie und Forschung enthalten. Unter OFA sind die Betriebs- und Stilllegungsabfälle der Verpackungsanlagen für SMA/ATA und HAA zu verstehen.

Die hier angegebenen Totale der exakten Aktivitätssummen können vernachlässigbare Abweichungen zur Summe der gerundeten, einzelnen Aktivitätssummen aufweisen.

| | | **Herkunft** | | | | | | | **Total** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **BE (KKW)** | **WA (KKW)** | **BA (KKW)** | **RA (KKW)** | **SA (KKW)** | **MIF** | **OFA** | |
| **Kategorie nach KEV** | **HAA** | 1.7E+19 | 1.9E+18 | | | | 1.3E+15 | | 1.9E+19 |
| | **ATA** | | 1.2E+16 | | | 7.7E+11 | 7.9E+14 | | 1.3E+16 |
| | **SMA** | | | 5.2E+14 | 3.3E+15 | 1.6E+16 | 9.3E+15 | 1.2E+11 | 2.9E+16 |
| | **Total** | **1.7E+19** | **1.9E+18** | **5.2E+14** | **3.3E+15** | **1.6E+16** | **1.1E+16** | **1.2E+11** | **1.9E+19** |

Des Weiteren werden in den Figuren Fig. 7-2 bis Fig. 7-6 die zeitlichen Entwicklungen der Aktivitäten dargestellt. Dabei wird sowohl die Entwicklung vom Jahr der ersten Abfallproduktion bis zum Referenzjahr 2075 als auch die Entwicklung bis 1 Million Jahre ab Ende des Einlagerungsbetriebs ausgewiesen.

Fig. 7-2 zeigt den Aktivitätsverlauf aufgeschlüsselt nach KEV-Kategorie, während Fig. 7-3 den Verlauf nach der Eigentümerschaft differenziert. In den Figuren Fig. 7-4 bis Fig. 7-6 sind die Aktivitätsverläufe jeweils auf die KEV-Kategorien SMA, ATA oder HAA beschränkt und nach der Art der radioaktiven Strahlung aufgeteilt.

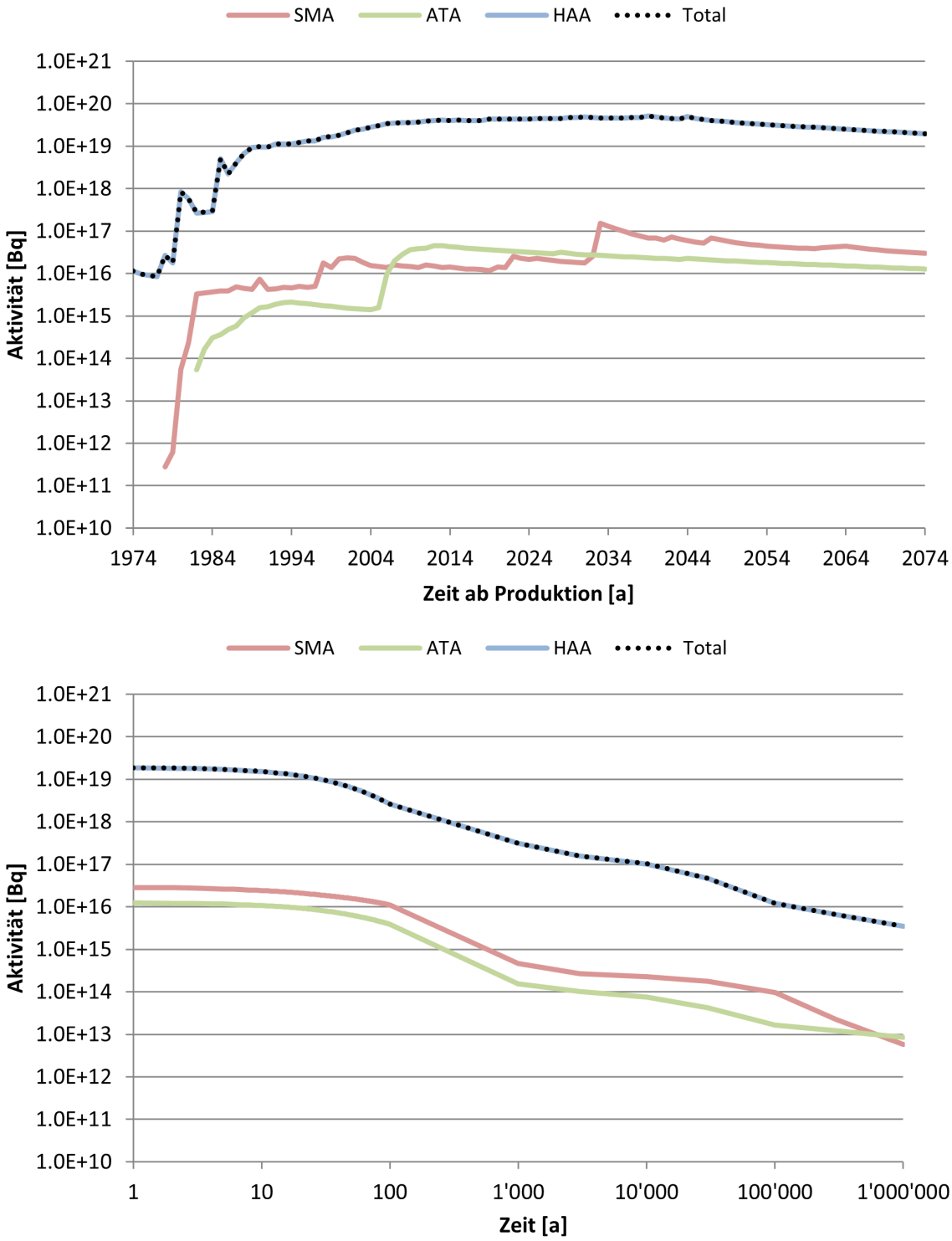



Fig. 7-2: Verlauf der aufsummierten Aktivität, aufgeschlüsselt nach KEV-Kategorie, vom Jahr der ersten Abfallproduktion bis zum Ende des Einlagerungsbetriebs 2075 (oben) und von 2075 bis 1 Mio. Jahre danach

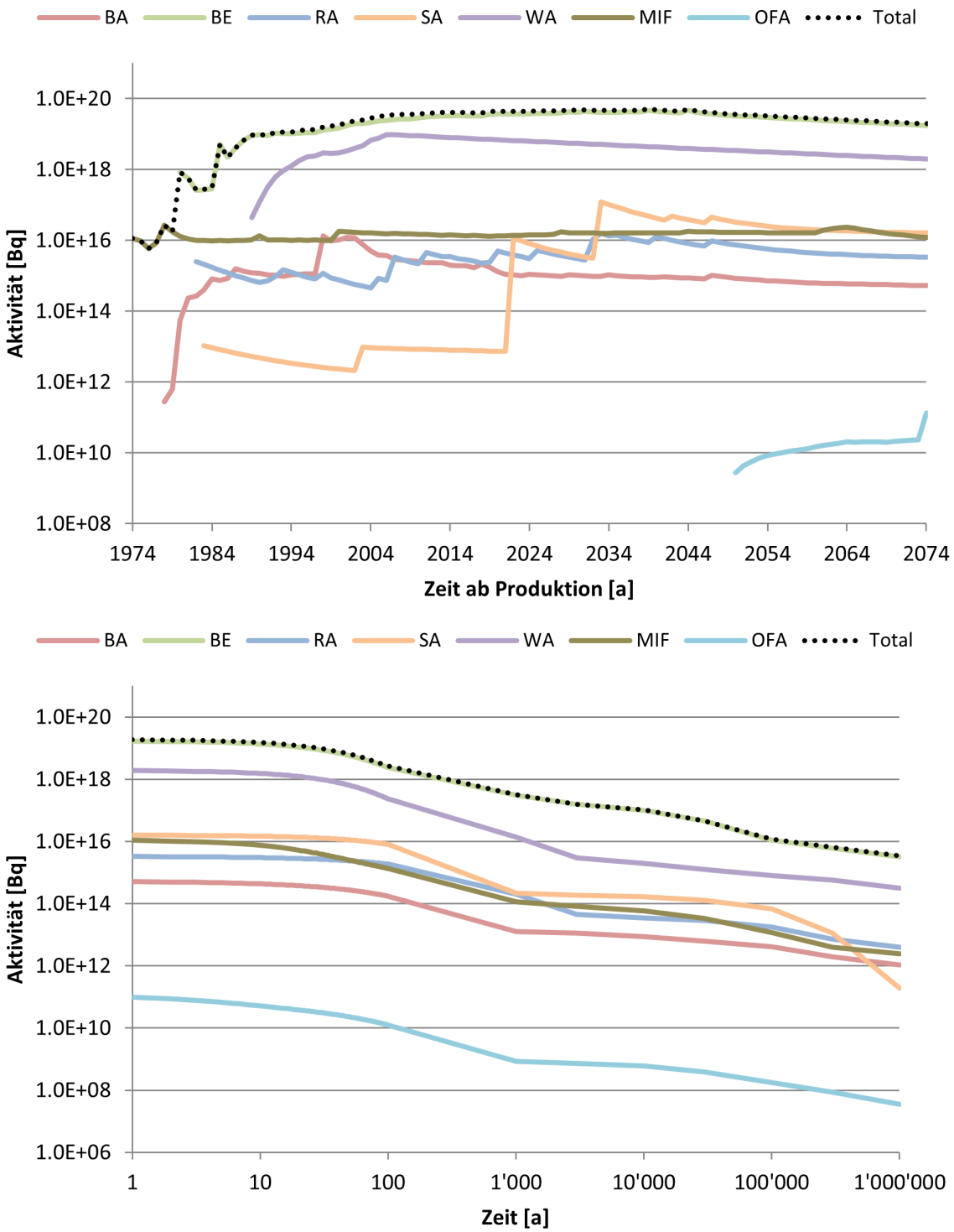



Fig. 7-3: Verlauf der aufsummierten Aktivität, aufgeschlüsselt nach Eigentümerschaft, vom Jahr der ersten Abfallproduktion bis zum Ende des Einlagerungsbetriebs 2075 (oben) und von 2075 bis 1 Mio. Jahre danach

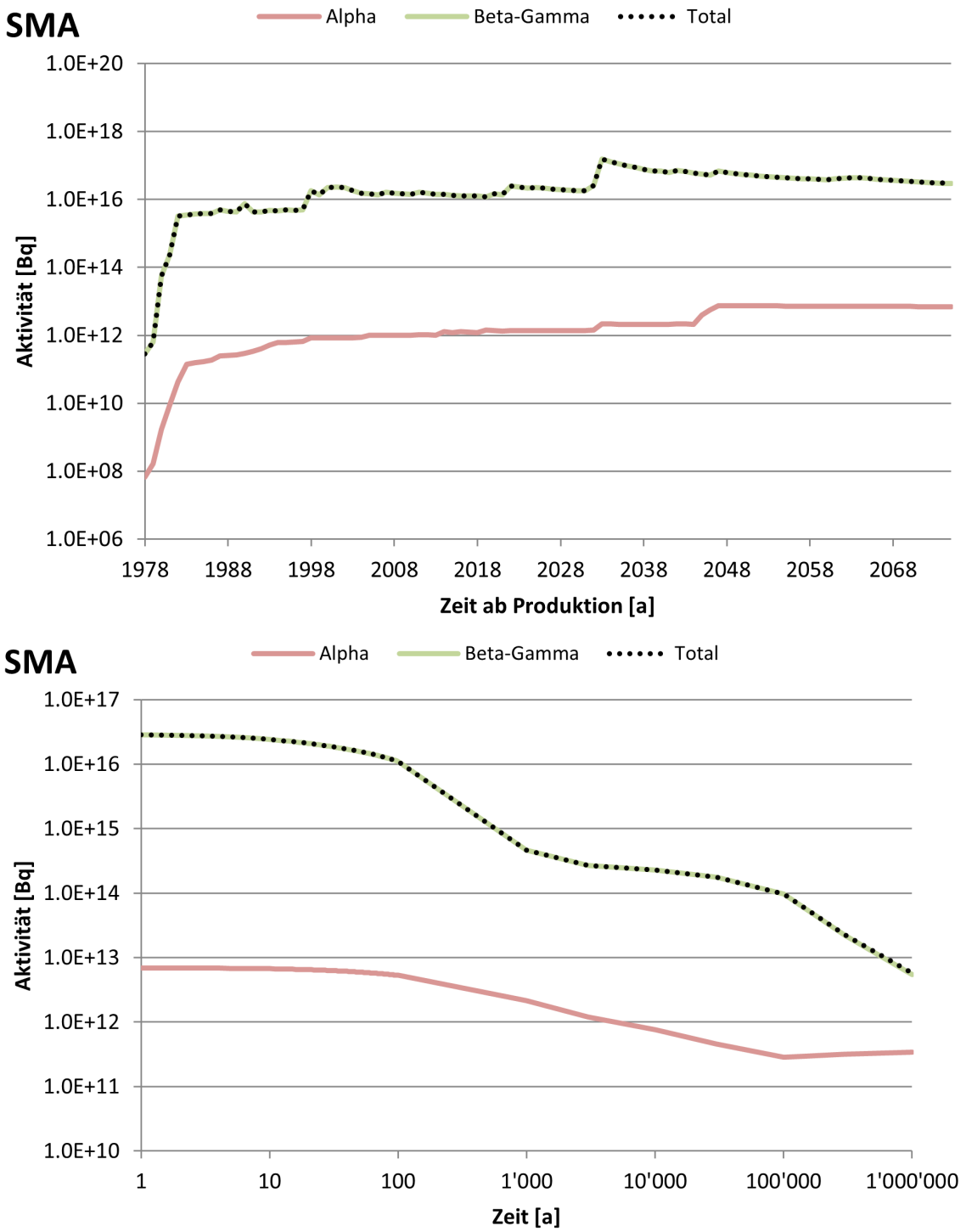



Fig. 7-4: Verlauf der aufsummierten Aktivität der schwach- und mittelaktiven Abfälle (KEV-Kategorie SMA), aufgeschlüsselt nach der Art der radioaktiven Strahlung, vom Jahr der ersten Abfallproduktion bis zum Ende des Einlagerungsbetriebs 2075 (oben) und von 2075 bis 1 Mio. Jahre danach

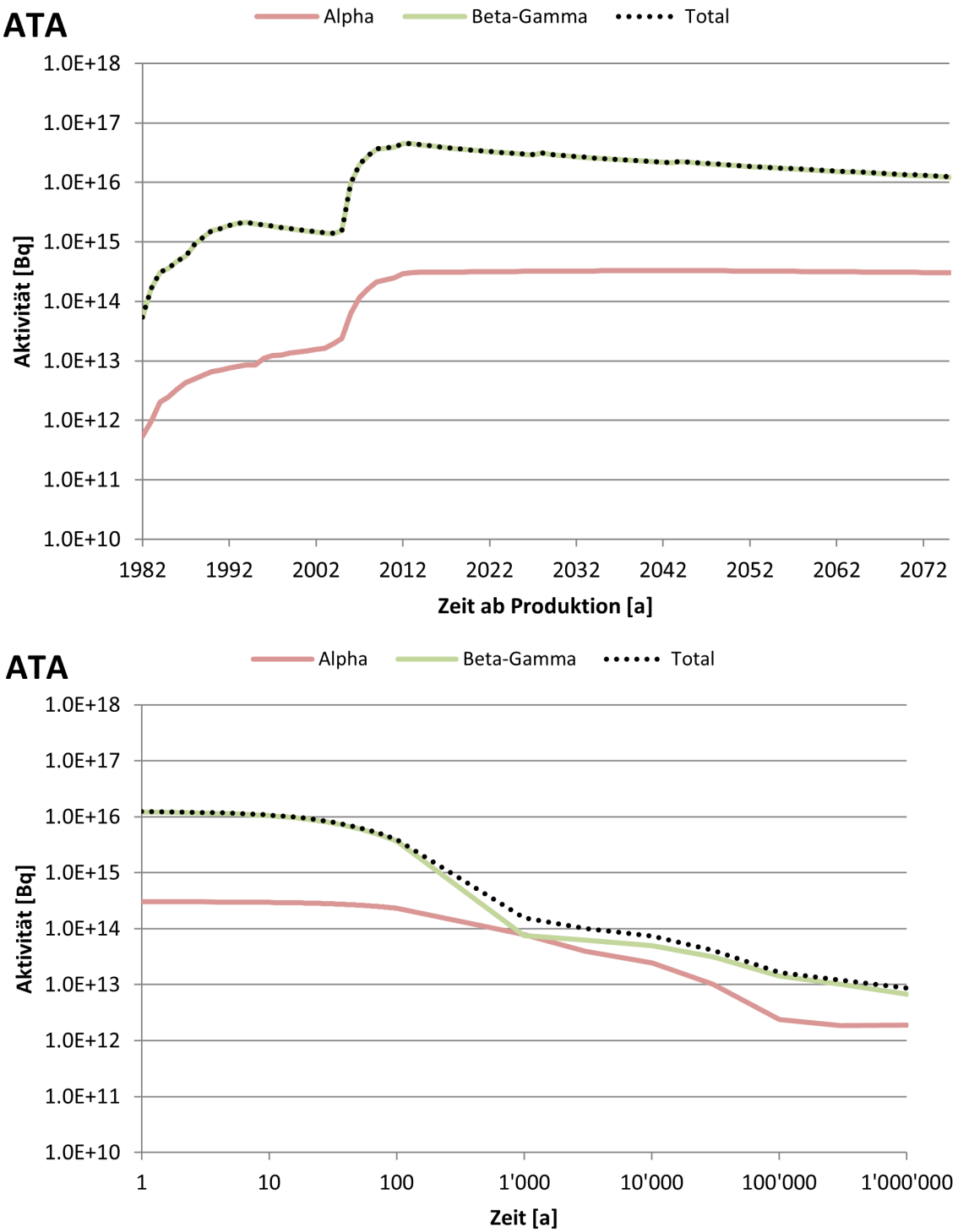



Fig. 7-5: Verlauf der aufsummierten Aktivität der alphatoxischen Abfälle (KEV-Kategorie ATA), aufgeschlüsselt nach der Art der radioaktiven Strahlung, vom Jahr der ersten Abfallproduktion bis zum Ende des Einlagerungsbetriebs 2075 (oben) und von 2075 bis 1 Mio. Jahre danach

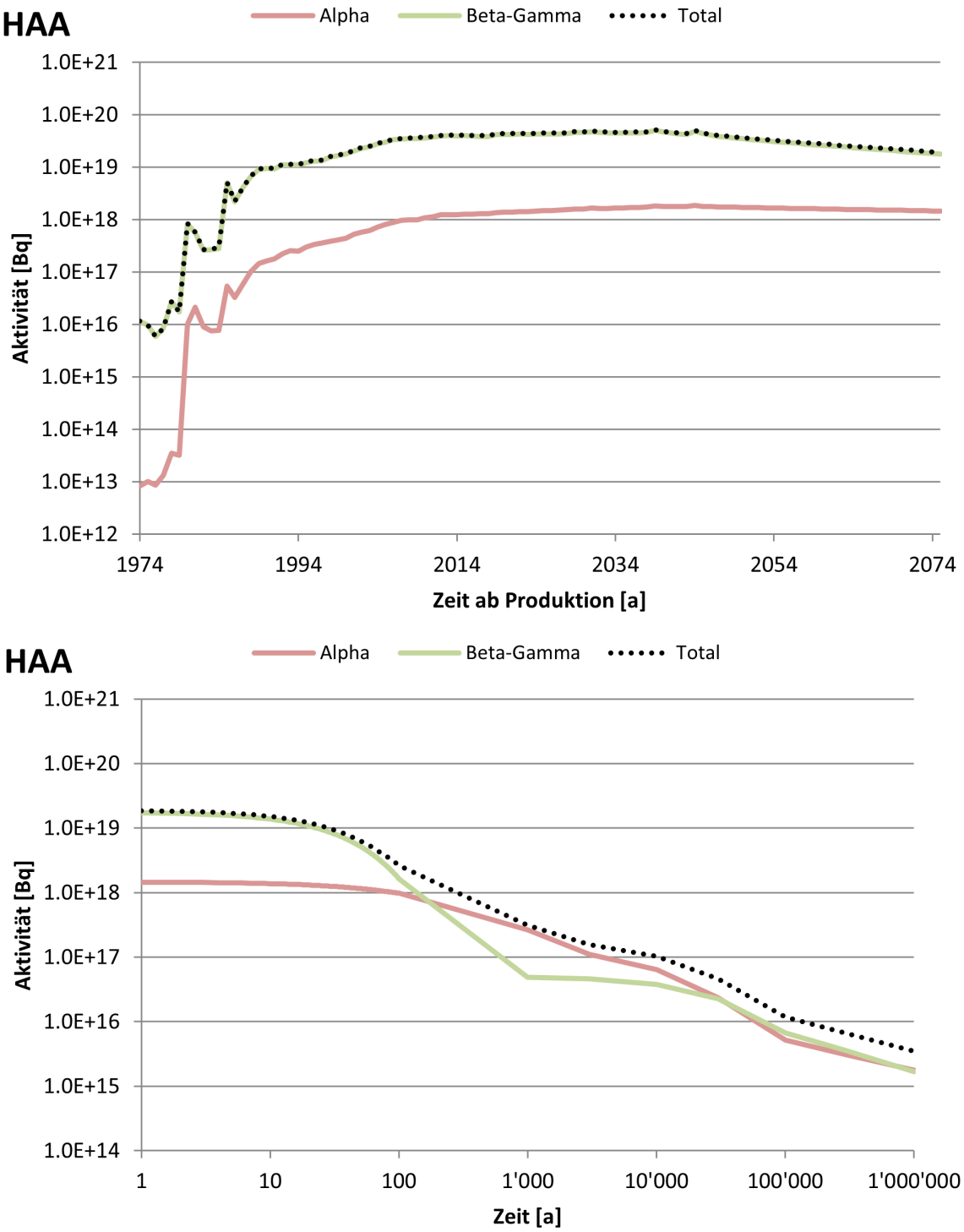



Fig. 7-6: Verlauf der aufsummierten Aktivität der hochaktiven Abfälle (KEV-Kategorie HAA), aufgeschlüsselt nach der Art der radioaktiven Strahlung, vom Jahr der ersten Abfallproduktion bis zum Ende des Einlagerungsbetriebs 2075 (oben) und von 2075 bis 1 Mio. Jahre danach

# 8 Literaturverzeichnis

Cacuci, D. G. (Hrsg.) (2010): Handbook of Nuclear Engineering, New York. Springer.

ENSI (2007): Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-B05/d, Ausgabe 2007 (Änderung 20. Dezember 2018). ENSI, Brugg.

ENSI (2020): Implementation of the obligations of the Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management : Seventh national report of Switzerland in accordance with Article 32 of the Convention. ENSI, Brugg.

ENSI (2021): ENSI-Glossar: Im Regelwerk zur nuklearen Sicherheit verwendete Begriffe. Stand vom 5. Oktober 2021. Edited by ENSI, Brugg.

Grove Software (2011): MicroShield® (Version 9.05) [Software].

Jacobsson Svärd, S. (2004): A tomographic measurement technique for irradiated nuclear fuel assemblies, Uppsala.

KEG (2003): Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003, Stand am 1. Januar 2022. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.1, Schweiz.

KEV (2004): Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004, Stand am 1. Januar 2022. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.11, Schweiz.

Nagra (2014): Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien – MIRAM 14. Nagra Technischer Bericht NTB 14-04.

Nagra (2021): Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen. Nagra Technischer Bericht NTB 21-01.

Nagra (2022): Advanced Methodology for Activation Characterization (AMAC). Nagra Arbeitsbericht NAB 22-19.

StSV (2017): Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 26. April 2017, Stand am 1. Januar 2022. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.501, Schweiz.

swissnuclear (2021): Kostenstudie 2021 (KS21) – Mantelbericht. SN-AN-21.194. Swissnuclear, Olten.

Vlassopoulos, E., Volmert, B. & Pautz, A. (2017): Logistics optimization code for spent fuel assembly loading into final disposal canisters. Nuclear Engineering and Design 325, 246-255. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2017.04.036.

Werner, C. J. (Hrsg.) (2017): MCNP User's Manual - Code Version 6.2. Rev. 0. (LA-UR-17-29981). Los Alamos National Laboratory, online verfügbar unter https://mcnp.lanl.gov/pdf_files/la-ur-17-29981.pdf, Stand am 19. September 2022.

Wieselquist, W. A., Lefebvre, R. A. & Jessee, M. A. (Hrsg.) (2020): SCALE Code System. Version 6.2.4. (ORNL/TM-2005/39). Oak Ridge National Laboratory.

# Anhang A Konzept der Verpackung in Endlagerbehälter

Die folgende Tabelle gibt an, welchen Endlagerbehältern (ELB) die jeweiligen Behältertypen zugewiesen werden. Zusätzlich wird die Anzahl der Behälter eines bestimmten Typs pro ELB und das Volumen des ELB angegeben.

| **Behältertyp** | **Endlagerbehälter** | **Behälter/ELB** | **Volumen ELB** [$m^3$] |
|---|---|---|---|
| BC PSI | KC-T12/30 PSI | 1 | 4.5 |
| BC Sogefibre | KC-T12/30 PSI | 1 | 4.5 |
| KC-T12/30 PSI | Wird als ELB übernommen. | 1 | 4.5 |
| GC-T24 PSI | Wird als ELB übernommen. | 1 | 16 |
| GC-T15/20 4.5m PSI | Wird als ELB übernommen. | 1 | 18 |
| 100-l-Fass | LC-86 Nagra | 22 | 9.36 |
| 200-l-Fass | LC-86H Nagra | 12 | 11.1 |
| 180-l-Kokille WA (HAA) | LB HAA Nagra | 3 | 1.79 |
| 180-l-Kokille WA (ATA) | LC-86 Nagra | 12 | 9.36 |
| LC-84 Nagra | Wird als ELB übernommen. | 1 | 6.27 |
| LC-86 Nagra | Wird als ELB übernommen. | 1 | 9.36 |
| MOSAIK-II | KC-T12/30 PSI | 1 | 4.5 |
| 200-l-Zylinder AERA | LC-86H Nagra | 12 | 11.1 |
| Zylinder BAG 1.4 l | KC-T12/30 PSI | 571 | 4.5 |
| Zylinder BAG 3.0 – 5.2 l | KC-T12/30 PSI | 217 | 4.5 |
| Zylinder BAG 7.1 – 10.3 l | KC-T12/30 PSI | 80 | 4.5 |
| Zylinder BAG 24.5 l | KC-T12/30 PSI | 33 | 4.5 |
| PB-146 Zylinder HL 16.8 l (ATA) | KC-T12/30 PSI | 36 | 4.5 |
| PB-250 Zylinder HL 43.2 l (ATA) | KC-T12/30 PSI | 16 | 4.5 |
| PB-250 Zylinder HL 43.2 l (HAA) | BE-D | 9 | 4.33 |
| BE aus KKB | BE-D | 3.993[a] | 4.33 |
| BE aus KKG | BE-D | 2.993[a] | 4.33 |
| BE aus KKL | BE-S | 9.784[a] | 4.93 |
| BE aus KKM | BE-S | 11.427[a] | 4.93 |
| BE aus DIORIT | BE-D | 175 | 4.33 |

[a] Mittlere Beladung

# Anhang B Verzeichnis der Abfallsorten

Für jede Abfallsorte wird das konditionierte sowie das in Endlagerbehälter verpackte Volumen (kond. Vol. und verp. Vol.) des repräsentativen Gebindes sowie die mittlere Masse und Gesamtaktivität im Jahr 2075 angegeben. Die Aufstellung ist gemäss den KEV-Kategorien SMA, ATA, HAA aufgeteilt.

## Übersicht der Abfallsorten

**Szenarium: MIRAM-RBG**

**Gruppierung nach: KEV-Kategorie / Gebindeherkunft**

| | Abfallsorte | | #Geb. | mittlere Eigenschaften (2075) kond. Vol m3 / Geb | verp. Vol. m3 / Geb | Masse kg / Geb | Aktiviät Bq / Geb |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **HAA** | | **Beznau** | **1801** | **1.37E-01** | **1.08E+00** | **4.72E+02** | **1.59E+15** |
| 1 | BE-B-MOX-UB-HAA | Abgebrannte MOX-Brennelemente KKB unverpackt | 232 | 1.37E-01 | 1.08E+00 | 4.63E+02 | 1.45E+15 |
| 2 | BE-B-UO2-UB-HAA | Abgebrannte UO2-Brennelemente KKB unverpackt | 1569 | 1.37E-01 | 1.08E+00 | 4.81E+02 | 1.74E+15 |
| **HAA** | | **Gösgen** | **1760** | **1.99E-01** | **1.45E+00** | **6.63E+02** | **2.97E+15** |
| 3 | BE-G-MOX-UG-HAA | Abgebrannte MOX-Brennelemente KKG unverpackt | 148 | 1.99E-01 | 1.45E+00 | 6.60E+02 | 2.84E+15 |
| 4 | BE-G-UO2-UG-HAA | Abgebrannte UO2-Brennelemente KKG unverpackt | 1612 | 1.99E-01 | 1.45E+00 | 6.65E+02 | 3.10E+15 |
| **HAA** | | **Leibstadt** | **7710** | **9.52E-02** | **5.04E-01** | **2.96E+02** | **1.02E+15** |
| 5 | BE-L-UO2-UL-HAA | Abgebrannte UO2-Brennelemente KKL unverpackt | 7710 | 9.52E-02 | 5.04E-01 | 2.96E+02 | 1.02E+15 |
| **HAA** | | **MIF (BAG/PSI/CERN)** | **377** | **2.66E-02** | **2.53E-01** | **1.04E+02** | **8.69E+12** |
| 6 | BA-PH-PF-Z9H-HAA | Festabfälle PSI-HL in PB-250 | 28 | 4.92E-02 | 4.81E-01 | 1.92E+02 | 1.50E+13 |
| 7 | BE-PD-UO2-UD-HAA | Abgebrannte UO2-Brennelemente PSI-DI unverpackt | 349 | 4.03E-03 | 2.47E-02 | 1.73E+01 | 2.41E+12 |
| **HAA** | | **Mühleberg** | **1177** | **8.64E-02** | **4.32E-01** | **2.66E+02** | **7.71E+14** |
| 8 | BE-M-UO2-UM-HAA | Abgebrannte UO2-Brennelemente KKM unverpackt | 1177 | 8.64E-02 | 4.32E-01 | 2.66E+02 | 7.71E+14 |
| **HAA** | | **Wiederaufarbeiter** | **632** | **1.82E-01** | **5.97E-01** | **4.79E+02** | **3.02E+15** |
| 9 | WA-F-KG-K1-HAA | Verglaste Konzentrate HAA AREVA (CSD-V) in 180-l-Kokille | 436 | 1.82E-01 | 5.97E-01 | 4.89E+02 | 3.07E+15 |
| 10 | WA-U-KG-K1-HAA | Verglaste Konzentrate HAA Sellafield (VR) in 180-l-Kokille | 196 | 1.82E-01 | 5.97E-01 | 4.70E+02 | 2.98E+15 |
| **ATA** | | **Lucens** | **4** | **6.27E+00** | **6.27E+00** | **1.59E+04** | **1.92E+11** |
| 11 | SA-LU-MX-L3-ATA | Lucens-Abfälle [ATA] in LC-84 | 4 | 6.27E+00 | 6.27E+00 | 1.59E+04 | 1.92E+11 |
| **ATA** | | **MIF (BAG/PSI/CERN)** | **1702** | **6.03E-01** | **1.43E+00** | **1.71E+03** | **3.63E+12** |
| 12 | BA-PB-X-B1-ATA | Gekapselte BAG Abfälle [ATA] in 200-l-Fass/1-m3-BC | 8 | 9.45E-01 | 4.50E+00 | 2.58E+03 | 1.07E+11 |
| 13 | BA-PB-X-F2-ATA | Gekapselte BAG Abfälle [ATA] in 200-l-Fass | 71 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 7.26E+02 | 2.67E+12 |
| 14 | BA-PB-X-Z2-ATA | Mischabfälle BAG H-3/C-14/Ra-226 [ATA] in 200-l-Zylinder | 25 | 2.24E-01 | 9.24E-01 | 5.62E+02 | 1.75E+11 |
| 15 | BA-PB-X-Z4-ATA | BAG-Kleinzylinder [ATA] | 943 | 1.40E-03 | 7.87E-03 | 5.52E+00 | 8.36E+08 |
| 16 | BA-PB-X-Z5-ATA | BAG-Kleinzylinder [ATA] | 30 | 3.00E-03 | 2.07E-02 | 5.91E+00 | 1.62E+08 |
| 17 | BA-PB-X-Z6-ATA | BAG-Kleinzylinder [ATA] | 36 | 1.03E-02 | 5.62E-02 | 2.97E+01 | 2.08E+08 |
| 18 | BA-PH-PF-F2-ATA | Festabfälle PSI-HL [ATA] in 200-l-Fass | 325 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 4.52E+02 | 1.72E+11 |
| 19 | BA-PH-PF-Z9A-ATA | Festabfälle PSI-HL in PB-250 | 143 | 4.92E-02 | 2.81E-01 | 1.61E+02 | 1.54E+12 |
| 20 | BA-PH-PL-B2-ATA | Lösungen PSI-HL in 1.2-m3-Container | 18 | 1.22E+00 | 4.50E+00 | 2.66E+03 | 2.13E+11 |
| 21 | BA-PH-PL-Z8-ATA | Lösungen PSI-HL in PB-146 | 87 | 1.67E-02 | 1.25E-01 | 5.00E+01 | 2.44E+11 |
| 22 | BA-PH-SF-F2-ATA | Spezielle Forschungsabfälle in 200-l-Fass | 1 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 3.85E+02 | 8.87E+10 |
| 23 | BA-P-U-F2-ATA | Uran-Abfälle MIF [ATA] in 200-l-Fass | 8 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 6.37E+02 | 3.43E+10 |
| 24 | BA-PW-MX-C1-ATA | Targets/Kollimatoren/BD PSI-West [ATA] in KC-T12/30 | 7 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.40E+04 | 4.19E+13 |
| **ATA** | | **Wiederaufarbeiter** | **552** | **1.80E-01** | **7.84E-01** | **5.73E+02** | **2.88E+13** |
| 25 | WA-F-MX-K2-ATA | Verpresste Metallabfälle AREVA (CSD-C) in 180-l-Kokille | 532 | 1.78E-01 | 7.84E-01 | 6.91E+02 | 2.07E+13 |
| 26 | WA-F-SG-K2-ATA | Verglaste Schlämme MAA AREVA (CSD-B) in 180-l-Kokille | 20 | 1.82E-01 | 7.84E-01 | 4.54E+02 | 3.69E+13 |

| Abfallsorte | | | mittlere Eigenschaften (2075) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | #Geb. | kond. Vol | verp. Vol. | Masse | Aktiviät |
| | | | | m3 / Geb | m3 / Geb | kg / Geb | Bq / Geb |
| **SMA** | | **Beznau** | **8200** | **2.46E+00** | **3.45E+00** | **6.79E+03** | **7.50E+12** |
| 27 | BA-B-F-F2-SMA | Filterkerzen KKB in 200-l-Fass | 210 | 2.21E-01 | 9.24E-01 | 4.76E+02 | 1.19E+10 |
| 28 | BA-B-HP-F1-SMA | Harze KKB in Polystyrol in 100-l-Fass | 2785 | 1.04E-01 | 4.27E-01 | 1.96E+02 | 8.15E+10 |
| 29 | BA-B-HP-F2-SMA | Harze KKB in Polystyrol in 200-l-Fass | 1263 | 2.21E-01 | 9.24E-01 | 4.08E+02 | 4.73E+10 |
| 30 | BA-B-K-F2-SMA | Konzentrate KKB in 200-l-Fass | 403 | 2.21E-01 | 9.24E-01 | 4.25E+02 | 6.26E+09 |
| 31 | BA-B-S-F2-SMA | Schlämme KKB in 200-l-Fass | 668 | 2.21E-01 | 9.24E-01 | 3.87E+02 | 3.68E+09 |
| 32 | BA-B-X-F2-SMA | Mischabfälle KKB unverpresst/verpresst in 200-l-Fass | 1374 | 2.20E-01 | 9.24E-01 | 4.47E+02 | 5.22E+08 |
| 33 | RA-B-MX-M2-SMA | Reaktoreinbauten KKB in Mosaik-II | 30 | 1.30E+00 | 4.50E+00 | 9.74E+03 | 5.01E+13 |
| 34 | SA-B-B-L4-SMA | Betonabfälle KKB in LC-86 | 87 | 9.40E+00 | 9.40E+00 | 1.95E+04 | 1.26E+08 |
| 35 | SA-B-H-M2-SMA | Harze KKB in Mosaik-II | 58 | 1.30E+00 | 4.50E+00 | 7.35E+03 | 2.88E+10 |
| 36 | SA-B-K-F2-SMA | Konzentrate KKB in 200-l-Fass | 29 | 2.21E-01 | 9.24E-01 | 3.93E+02 | 1.50E+09 |
| 37 | SA-B-ME-L3-SMA | Reaktoreinbauten KKB in LC-84 | 28 | 6.27E+00 | 6.27E+00 | 1.55E+04 | 4.64E+10 |
| 38 | SA-B-ME-M2-SMA | Reaktoreinbauten KKB in Mosaik-II | 168 | 1.30E+00 | 4.50E+00 | 8.98E+03 | 6.19E+13 |
| 39 | SA-B-MS-L3-SMA | Stahlabfälle KKB in LC-84 | 162 | 6.27E+00 | 6.27E+00 | 1.66E+04 | 2.42E+11 |
| 40 | SA-B-MS-L4-SMA | Stahlabfälle KKB in LC-86 | 321 | 9.40E+00 | 9.40E+00 | 2.09E+04 | 1.88E+10 |
| 41 | SA-B-X-F2-SMA | Mischabfälle KKB in 200-l-Fass | 614 | 2.15E-01 | 9.24E-01 | 6.11E+02 | 4.70E+08 |
| **SMA** | | **Gösgen** | **5549** | **2.22E+00** | **3.65E+00** | **6.06E+03** | **4.16E+12** |
| 42 | BA-G-F-F2-SMA | Filtermaterial KKG in 200-l-Fass | 134 | 2.11E-01 | 9.24E-01 | 3.97E+02 | 6.72E+10 |
| 43 | BA-G-HB-B1-SMA | Harze KKG bituminiert in 1-m3-BC | 12 | 9.82E-01 | 4.50E+00 | 2.85E+03 | 6.91E+09 |
| 44 | BA-G-HB-F2-SMA | Harze KKG bituminiert in 200-l-Fass | 796 | 2.11E-01 | 9.24E-01 | 2.56E+02 | 8.81E+10 |
| 45 | BA-G-H-F2-SMA | Harze KKG zementiert in 200-l-Fass | 7 | 2.14E-01 | 9.24E-01 | 4.40E+02 | 3.01E+10 |
| 46 | BA-G-KB-B1-SMA | Konzentrate KKG bituminiert in 1-m3-BC | 12 | 9.82E-01 | 4.50E+00 | 2.04E+03 | 1.95E+08 |
| 47 | BA-G-KB-F2-SMA | Konzentrate KKG bituminiert in 200-l-Fass | 2675 | 2.11E-01 | 9.24E-01 | 2.96E+02 | 1.04E+08 |
| 48 | BA-G-X-F2-SMA | Mischabfälle KKG unverpresst/verpresst in 200-l-Fass | 394 | 2.12E-01 | 9.24E-01 | 4.92E+02 | 2.71E+07 |
| 49 | RA-G-MS-B1-SMA | Reaktoreinbauten KKG in 1-m3-BC | 3 | 9.82E-01 | 4.50E+00 | 3.28E+03 | 6.00E+10 |
| 50 | RA-G-MX-F2-SMA | Reaktoreinbauten KKG in 200-l-Fass | 59 | 2.11E-01 | 9.24E-01 | 6.38E+02 | 1.41E+11 |
| 51 | RA-G-MX-M2-SMA | Reaktoreinbauten KKG in Mosaik-II | 16 | 1.30E+00 | 4.50E+00 | 9.74E+03 | 5.03E+13 |
| 52 | SA-G-B-L4-SMA | Betonabfälle KKG in LC-86 | 60 | 9.40E+00 | 9.40E+00 | 1.91E+04 | 2.17E+06 |
| 53 | SA-G-H-M2-SMA | Harze KKG in Mosaik-II | 49 | 1.30E+00 | 4.50E+00 | 7.35E+03 | 1.13E+10 |
| 54 | SA-G-K-F2-SMA | Konzentrate KKG in 200-l-Fass | 29 | 2.21E-01 | 9.24E-01 | 3.93E+02 | 5.90E+08 |
| 55 | SA-G-ME-L3-SMA | Edelstahlabfälle KKG in LC-84 | 18 | 6.27E+00 | 6.27E+00 | 1.55E+04 | 1.25E+11 |
| 56 | SA-G-ME-M2-SMA | Reaktoreinbauten KKG in Mosaik-II | 97 | 1.30E+00 | 4.50E+00 | 7.77E+03 | 2.40E+13 |
| 57 | SA-G-MS-L3-SMA | Stahlabfälle KKG in LC-84 | 215 | 6.27E+00 | 6.27E+00 | 1.69E+04 | 4.97E+10 |
| 58 | SA-G-MS-L4-SMA | Stahlabfälle KKG in LC-86 | 216 | 9.40E+00 | 9.40E+00 | 2.10E+04 | 2.90E+10 |
| 59 | SA-G-X-F2-SMA | Mischabfälle in 200-l-Fass | 757 | 2.14E-01 | 9.24E-01 | 6.23E+02 | 4.17E+08 |
| **SMA** | | **Leibstadt** | **16733** | **2.32E+00** | **3.32E+00** | **6.49E+03** | **1.44E+12** |
| 60 | BA-L-F-F2-SMA | Filterkerzen KKL in 200-l-Fass | 5 | 2.14E-01 | 9.24E-01 | 4.70E+02 | 1.16E+12 |
| 61 | BA-L-H-F2-SMA | Harze/Konzentrate KKL in 200-l-Fass | 11299 | 2.14E-01 | 9.24E-01 | 3.84E+02 | 2.04E+09 |
| 62 | BA-L-S-F2-SMA | Schlämme KKL in 200-l-Fass | 65 | 2.14E-01 | 9.24E-01 | 3.82E+02 | 5.73E+08 |
| 63 | BA-L-X-F2-SMA | Mischabfälle KKL unverpresst/verpresst in 200-l-Fass | 1537 | 2.14E-01 | 9.24E-01 | 4.53E+02 | 1.70E+07 |
| 64 | RA-L-F-F2-SMA | UWS-Filterelemente KKL in 200-l-Fass | 18 | 2.14E-01 | 9.24E-01 | 4.80E+02 | 4.24E+10 |
| 65 | RA-L-MX-F2-SMA | Reaktoreinbauten KKL in 200-l-Fass | 494 | 2.14E-01 | 9.24E-01 | 6.13E+02 | 1.77E+11 |
| 66 | RA-L-MX-M2-SMA | Reaktoreinbauten KKL in Mosaik-II | 56 | 1.30E+00 | 4.50E+00 | 9.06E+03 | 1.15E+13 |
| 67 | SA-L-B-L4-SMA | Betonabfälle KKL in LC-86 | 51 | 9.40E+00 | 9.40E+00 | 1.91E+04 | 1.73E+06 |
| 68 | SA-L-H-M2-SMA | Harze KKL in Mosaik-II | 36 | 1.30E+00 | 4.50E+00 | 7.36E+03 | 2.26E+09 |
| 69 | SA-L-K-F2-SMA | Konzentrate KKL in 200-l-Fass | 87 | 2.21E-01 | 9.24E-01 | 3.93E+02 | 1.36E+08 |
| 70 | SA-L-ME-L3-SMA | Edelstahlabfälle KKL in LC-84 | 168 | 6.27E+00 | 6.27E+00 | 1.69E+04 | 5.54E+09 |
| 71 | SA-L-ME-M2-SMA | Reaktoreinbauten KKL in Mosaik-II | 170 | 1.30E+00 | 4.50E+00 | 8.32E+03 | 1.02E+13 |
| 72 | SA-L-MS-F2-SMA | Stahlabfälle KKL in 200-l-Fass | 573 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 6.43E+02 | 2.78E+09 |
| 73 | SA-L-MS-L3-SMA | Stahlabfälle KKL in LC-84 | 448 | 6.27E+00 | 6.27E+00 | 1.68E+04 | 2.35E+10 |
| 74 | SA-L-MS-L4-SMA | Stahlabfälle KKL in LC-86 | 214 | 9.40E+00 | 9.40E+00 | 2.19E+04 | 7.30E+09 |
| 75 | SA-L-X-F2-SMA | Mischabfälle in 200-l-Fass | 1512 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 6.51E+02 | 3.11E+08 |
| **SMA** | | **Lucens** | **46** | **2.49E+00** | **3.90E+00** | **6.73E+03** | **5.91E+10** |
| 76 | SA-LU-B-F2-SMA | Lucens-Staub (Betonabtrag) in 200-l-Fass | 4 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 4.99E+02 | 4.53E+05 |
| 77 | SA-LU-MX-B1-SMA | Lucens-Abfälle in 1-m3-BC | 13 | 9.80E-01 | 4.50E+00 | 2.34E+03 | 6.41E+10 |
| 78 | SA-LU-MX-L3-SMA | Lucens-Abfälle [SMA] in LC-84 | 29 | 6.27E+00 | 6.27E+00 | 1.74E+04 | 1.13E+11 |

| Abfallsorte | | | mittlere Eigenschaften (2075) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | #Geb. | kond. Vol | verp. Vol. | Masse | Aktiviät |
| | | | | m3 / Geb | m3 / Geb | kg / Geb | Bq / Geb |
| **SMA** | | **MIF (BAG/PSI/CERN)** | **14578** | **3.08E+00** | **3.63E+00** | **9.72E+03** | **3.82E+12** |
| 79 | BA-C-MX-C1-SMA | Beschleunigerabfälle CERN in KC-T12 | 6 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.32E+04 | 3.47E+10 |
| 80 | BA-C-X-F2-SMA | Beschleunigerabfälle CERN in 200-l-Fass | 489 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 3.98E+02 | 2.39E+10 |
| 81 | BA-PB-X-B1-SMA | Gekapselte BAG Abfälle [SMA] in 200-l-Fass/1-m3-BC | 7 | 9.45E-01 | 4.50E+00 | 2.29E+03 | 3.28E+11 |
| 82 | BA-PB-X-F2-SMA | Gekapselte BAG Abfälle [SMA] in 200-l-Fass | 725 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 5.29E+02 | 1.63E+11 |
| 83 | BA-PB-X-Z4-SMA | BAG-Kleinzylinder [SMA] | 41 | 1.40E-03 | 7.87E-03 | 4.18E+00 | 5.80E+07 |
| 84 | BA-PB-X-Z5-SMA | BAG-Kleinzylinder [SMA] | 1970 | 3.69E-03 | 2.07E-02 | 1.13E+01 | 2.72E+12 |
| 85 | BA-PB-X-Z6-SMA | BAG-Kleinzylinder [SMA] | 3032 | 9.78E-03 | 5.62E-02 | 2.20E+01 | 3.79E+11 |
| 86 | BA-PB-X-Z7-SMA | BAG-Kleinzylinder [SMA] | 139 | 2.49E-02 | 1.36E-01 | 5.56E+01 | 1.68E+12 |
| 87 | BA-PH-PF-B1-SMA | Festabfälle PSI- HL [SMA] in 200-l-Fass/1-m3-BC | 11 | 9.45E-01 | 4.50E+00 | 2.35E+03 | 7.42E+10 |
| 88 | BA-PH-PF-F2-SMA | Festabfälle PSI-HL [SMA] in 200-l-Fass | 1379 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 4.31E+02 | 5.77E+08 |
| 89 | BA-PH-PL-F2-SMA | Lösungen PSI-HL in 200-l-Fass | 13 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 4.71E+02 | 8.80E+08 |
| 90 | BA-PH-X-F2-SMA | Mischabfälle PSI-HL in 200-l-Fass | 62 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 5.39E+02 | 2.28E+09 |
| 91 | BA-P-MA-C1-SMA | Alu-Schmelzkokillen in KC-T12 | 8 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.05E+04 | 1.01E+11 |
| 92 | BA-P-S-F2-SMA | Schlämme MIF in 200-l-Fass | 514 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 4.39E+02 | 1.03E+07 |
| 93 | BA-P-U-F2-SMA | Uran-Abfälle MIF [SMA] in 200-l-Fass | 25 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 6.37E+02 | 3.34E+09 |
| 94 | BA-PV-AF-F2-SMA | Rückstände PVA/PSI in 200-l-Fass | 1017 | 2.16E-01 | 9.24E-01 | 4.63E+02 | 1.32E+08 |
| 95 | BA-PW-MX-C1-SMA | Targets/Kollimatoren/BD PSI-West [SMA] in KC-T12/30 | 9 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.57E+04 | 7.78E+12 |
| 96 | BA-PW-X-C1-SMA | Beschleunigerabfälle PSI-West in KC-T12/30 | 312 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.39E+04 | 8.40E+09 |
| 97 | BA-PW-X-C2-SMA | Beschleunigerabfälle PSI-West in GC-24 | 7 | 1.60E+01 | 1.60E+01 | 5.35E+04 | 1.04E+10 |
| 98 | BA-P-X-B1-SMA | Mischabfälle MIF in 200-l-Fass/1-m3-BC | 7 | 9.45E-01 | 4.50E+00 | 2.35E+03 | 5.64E+07 |
| 99 | BA-P-X-C1-SMA | Mischabfälle MIF in KC-T12 | 21 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.17E+04 | 5.79E+09 |
| 100 | BA-P-X-F2-SMA | Mischabfälle MIF [SMA] in 200-l-Fass | 2816 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 4.57E+02 | 7.84E+08 |
| 101 | SA-P-B-C1-SMA | Betonabfälle kleiner Forschungsanlagen in KC-T12/30 | 2 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.18E+04 | 1.03E+10 |
| 102 | SA-PD-MA-C1-SMA | Aluminium-Giesslinge PSI-DI in KC-T12/30 | 2 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.04E+04 | 4.60E+10 |
| 103 | SA-PD-X-C1-SMA | Metall/Beton-Abfälle PSI-DI in KC-T12/30 | 61 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.42E+04 | 7.01E+10 |
| 104 | SA-PD-X-F2-SMA | Mischabfälle PSI-DI in 200-l-Fass | 9 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 5.82E+02 | 1.14E+13 |
| 105 | SA-PH-PF-F2-SMA | Festabfälle PSI-HL [SMA] in 200-l-Fass | 600 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 4.18E+02 | 1.06E+11 |
| 106 | SA-P-MX-C1-SMA | Metallabfälle kleiner Forschungsanlagen in KC-T12/30 | 2 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.02E+04 | 1.03E+10 |
| 107 | SA-PP-X-C1-SMA | Stilllegungsabfälle PSI-PR in KC-T12/30 | 2 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.75E+04 | 9.53E+09 |
| 108 | SA-PS-MX-M2-SMA | Stilllegungsabfälle PSI-SR in Mosaik-II | 1 | 1.32E+00 | 4.50E+00 | 7.71E+03 | 1.17E+14 |
| 109 | SA-PS-X-C1-SMA | Stilllegungsabfälle PSI-SR in KC-T12/30 | 14 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.08E+04 | 1.00E+11 |
| 110 | SA-PV-X-C1-SMA | Stilllegungsabfälle PVA/PSI in KC-T12/30 | 29 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 8.45E+03 | 6.12E+07 |
| 111 | SA-PW-B-C1-SMA | Betonabfälle PSI-West in KC-T12/30 | 626 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.05E+04 | 1.71E+10 |
| 112 | SA-PW-MA-C1-SMA | Aluminium-Giesslinge PSI-West in KC-T12/30 | 1 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.01E+04 | 2.24E+11 |
| 113 | SA-PW-MC-C1-SMA | Kupferabfälle PSI-West in KC-T12/30 | 13 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.96E+04 | 1.68E+09 |
| 114 | SA-PW-ME-C1-SMA | Edelstahl- & Kupferabfälle PSI-West in KC-T12/30 | 29 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.99E+04 | 1.45E+12 |
| 115 | SA-PW-MS-C1-SMA | Stahlabfälle PSI-West in KC-T12/30 | 472 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.99E+04 | 3.61E+12 |
| 116 | SA-PW-MX-C1-SMA | Abschirmungen PSI-West in KC-T12/30 | 89 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.96E+04 | 3.38E+12 |
| 117 | SA-PW-MX-C3-SMA | Beschleunigerabfälle PSI-West in Spezialcontainern | 1 | 1.80E+01 | 1.80E+01 | 5.72E+04 | 1.89E+12 |
| 118 | SA-PW-X-C1-SMA | Stilllegungsabfälle PSI-West in KC-T12/30 | 7 | 4.50E+00 | 4.50E+00 | 1.90E+04 | 4.38E+12 |
| 119 | SA-P-X-F2-SMA | Mischabfälle PSI in 200-l-Fass | 8 | 2.17E-01 | 9.24E-01 | 4.60E+02 | 3.56E+06 |

| Abfallsorte | | | mittlere Eigenschaften (2075) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | #Geb. | kond. Vol | verp. Vol. | Masse | Aktiviät |
| | | | | m3 / Geb | m3 / Geb | kg / Geb | Bq / Geb |
| **SMA** | **Mühleberg** | | **7516** | **2.72E+00** | **3.68E+00** | **7.04E+03** | **2.25E+12** |
| 120 | BA-M-F-F2-SMA | Filterkerzen KKM in 200-l-Fass | 18 | 2.15E-01 | 9.24E-01 | 4.35E+02 | 7.06E+10 |
| 121 | BA-M-H-F2-SMA | Harze KKM in 200-l-Fass | 4821 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 3.51E+02 | 1.63E+10 |
| 122 | BA-M-S-F2-SMA | Schlämme KKM in 200-l-Fass | 80 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 4.07E+02 | 3.72E+08 |
| 123 | BA-M-X-F2-SMA | Mischabfälle KKM unverpresst/verpresst in 200-l-Fass | 721 | 2.14E-01 | 9.24E-01 | 4.55E+02 | 3.93E+07 |
| 124 | RA-M-F-F2-SMA | UWS-Filterelemente KKM in 200-l-Fass | 18 | 2.15E-01 | 9.24E-01 | 4.48E+02 | 2.31E+11 |
| 125 | RA-M-ME-B1-SMA | Reaktoreinbauten KKM in 1-m3-BC | 48 | 9.82E-01 | 4.50E+00 | 3.23E+03 | 2.25E+12 |
| 126 | RA-M-MX-F2-SMA | Reaktoreinbauten KKM in 200-l-Fass | 366 | 2.15E-01 | 9.24E-01 | 5.97E+02 | 1.39E+11 |
| 127 | RA-M-MX-M2-SMA | Reaktoreinbauten KKM in Mosaik-II | 13 | 1.30E+00 | 4.50E+00 | 9.11E+03 | 7.31E+12 |
| 128 | SA-M-B-L4-SMA | Betonabfälle KKM in LC-86 | 54 | 9.40E+00 | 9.40E+00 | 1.91E+04 | 5.08E+05 |
| 129 | SA-M-K-F2-SMA | Konzentrate KKM in 200-l-Fass | 36 | 2.21E-01 | 9.24E-01 | 3.93E+02 | 7.39E+07 |
| 130 | SA-M-ME-F2-SMA | Edelstahlabfälle in 200-l-Fass | 361 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 5.35E+02 | 2.96E+11 |
| 131 | SA-M-ME-L3-SMA | Edelstahlabfälle KKM in LC-84 | 4 | 6.27E+00 | 6.27E+00 | 1.56E+04 | 1.48E+11 |
| 132 | SA-M-ME-M2-SMA | Reaktoreinbauten in Mosaik-II | 51 | 1.30E+00 | 4.50E+00 | 9.01E+03 | 2.77E+13 |
| 133 | SA-M-MS-L3-SMA | Stahlabfälle KKM in LC-84 | 287 | 6.27E+00 | 6.27E+00 | 1.68E+04 | 7.08E+09 |
| 134 | SA-M-MS-L4-SMA | Stahlabfälle KKM in LC-86 | 75 | 9.40E+00 | 9.40E+00 | 2.09E+04 | 1.46E+07 |
| 135 | SA-M-X-F2-SMA | Mischabfälle KKM in 200-l-Fass | 554 | 2.15E-01 | 9.24E-01 | 5.77E+02 | 1.17E+06 |
| 136 | SA-M-X-L4-SMA | Mischabfälle KKM in LC-86 | 9 | 9.40E+00 | 9.40E+00 | 2.18E+04 | 1.22E+07 |
| **SMA** | **OFA** | | **722** | **1.24E+00** | **1.87E+00** | **2.73E+03** | **3.71E+08** |
| 137 | BA-OH-F-F2-SMA | Abluftfilter BEVA in 200-l-Fass | 89 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 2.75E+02 | 8.22E+04 |
| 138 | BA-OH-ME-F2-SMA | Werkzeuge BEVA in 200-l-Fass | 30 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 7.20E+02 | 8.44E+05 |
| 139 | BA-OH-PA-F2-SMA | Brennbare Mischabfälle aus BEVA in 200-l-Fass | 30 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 6.40E+02 | 3.89E+08 |
| 140 | BA-OH-X-F2-SMA | Crud aus BEVA in 200-l-Fass | 4 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 4.56E+02 | 8.52E+08 |
| 141 | BA-OS-PA-F2-SMA | Schlacke Plasmaanlage (Mischabfälle OFA SMA) in 200-l-Fass | 430 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 6.40E+02 | 2.05E+07 |
| 142 | SA-OH-B-L4-SMA | Betonabfälle BEVA in LC-86 | 7 | 9.40E+00 | 9.40E+00 | 2.03E+04 | 6.89E+06 |
| 143 | SA-OH-K-F2-SMA | Konzentrate BEVA in 200-l-Fass | 15 | 2.21E-01 | 9.24E-01 | 3.93E+02 | 1.30E+09 |
| 144 | SA-OH-PA-F2-SMA | Schlacke Plasmaanlage (Mischabfälle BEVA) in 200-l-Fass | 96 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 6.40E+02 | 7.61E+08 |
| 145 | SA-OH-X-F2-SMA | Mischabfälle (nicht brennbar) BEVA in 200-l-Fass | 21 | 2.16E-01 | 9.24E-01 | 4.94E+02 | 9.78E+06 |
| **SMA** | **TLB-BHA** | | **673** | **3.28E+00** | **3.75E+00** | **9.59E+03** | **3.88E+10** |
| 146 | BA-TB-ME-L4-SMA | Geschnittene TLB-Tragkörbe in LC-86 | 274 | 9.40E+00 | 9.40E+00 | 2.74E+04 | 1.16E+11 |
| 147 | BA-TB-MS-F2-SMA | Stahlabfälle aus der TLB-BHA in 200-l-Fass | 64 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 7.73E+02 | 4.84E+05 |
| 148 | BA-TB-PA-F2-SMA | Brennbare Mischabfälle aus der TLB-BHA in 200-l-Fass | 335 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 6.40E+02 | 3.78E+08 |
| **SMA** | **ZWILAG** | | **10599** | **3.31E+00** | **3.63E+00** | **7.77E+03** | **1.05E+09** |
| 149 | BA-Z-B-C1-SMA | Betonabfälle in KC-T12 | 1 | 4.45E+00 | 4.45E+00 | 9.22E+03 | 3.32E+06 |
| 150 | BA-Z-PA-C1-SMA | Sekundärabfälle Plasmaanlage in KC-T12 | 3 | 4.45E+00 | 4.45E+00 | 9.70E+03 | 2.03E+08 |
| 151 | BA-Z-PA-F2-SMA | Schlacke Plasmaanlage in 200-l-Fass | 7757 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 6.40E+02 | 1.24E+08 |
| 152 | BA-Z-X-C1-SMA | Heterogen zementierbare Abfälle in KC-T12/30 | 31 | 4.45E+00 | 4.45E+00 | 1.10E+04 | 4.91E+08 |
| 153 | BA-Z-X-L3-SMA | Mischabfälle ZWILAG in LC-84 | 83 | 6.27E+00 | 6.27E+00 | 1.57E+04 | 1.09E+09 |
| 154 | SA-Z-B-L4-SMA | Betonabfälle ZWILAG in LC-86 | 17 | 9.40E+00 | 9.40E+00 | 2.01E+04 | 6.67E+06 |
| 155 | SA-Z-K-F2-SMA | Konzentrate ZWILAG in 200-l-Fass | 5 | 2.21E-01 | 9.24E-01 | 3.93E+02 | 7.94E+08 |
| 156 | SA-Z-MS-F2-SMA | Stahlabfälle ZWILAG in 200-l-Fass | 17 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 6.43E+02 | 8.10E+05 |
| 157 | SA-Z-MS-L3-SMA | Stahlabfälle ZWILAG in LC-84 | 27 | 6.27E+00 | 6.27E+00 | 1.70E+04 | 6.02E+06 |
| 158 | SA-Z-PA-F2-SMA | Schlacke Plasmaanlage (Mischabfälle ZWILAG) in 200-l-Fass | 2598 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 6.40E+02 | 8.87E+09 |
| 159 | SA-Z-X-F2-SMA | Unbrennbare Mischabfälle in 200-l-Fass | 60 | 2.13E-01 | 9.24E-01 | 4.70E+02 | 1.46E+07 |

# Anhang C Abfallsortenreports – ausgewählte Beispiele

MIRAM-RBG umfasst insgesamt 159 Abfallsorten, deren Herleitung in Kapitel 6 beschrieben wurden. Die zugehörigen Abfallsortenreports sind elektronisch in der Beilage des vorliegenden Berichts vorhanden.

Zur Veranschaulichung werden an dieser Stelle ausgewählte Abfallsortenreports verschiedener Kategorien angefügt. Sie zeigen einen exemplarischen Querschnitt über die unterschiedlichen Abfälle (Art, Herkunft und Kategorie) der einzelnen Abfallproduzenten sowie über die vorhandenen Konditionierungsmethoden.

**BA-B-K-F2-SMA: Konzentrate KKB in 200-l-Fass**

Diese Abfallsorte fasst in 200-l-Fässern (F2" im Abfallsortenkürzel) konditionierte Konzentrate ("K" im Abfallsortenkürzel) aus dem Betrieb ("BA" im Abfallsortenkürzel) des Kernkraftwerks Beznau ("B" im Abfallsortenkürzel) zusammen. Konzentrate fallen bei der Reinigung des Reaktorkühlkreislaufes und der Abwasserreinigung an. Die produzierten Konzentrate werden anschliessend in 200-l-Fässern durch Mischung mit Zement verfestigt und somit konditioniert. "SMA" am Ende des Abfallsortenkürzels weist darauf hin, dass es sich um Abfall der KEV-Kategorie SMA handelt.

**RA-G-MX-M2-SMA: Reaktoreinbauten KKG in Mosaik-II**

Hierbei handelt es sich um Reaktorabfälle («RA»), die bei Revisionsarbeiten im Kernkraftwerk Gösgen («G») anfallen. Dabei werden ausgetauschte, aus unterschiedlichen Metallen («MX») bestehende und stark aktivierte Systemkomponenten aus dem Reaktorkern in einen Mosaik-II-Behälter («M2») eingestellt und der Behälter verschlossen. Dieser Abfall fällt ebenfalls unter die KEV-Kategorie SMA.

**SA-L-B-L4-SMA: Betonabfälle KKL in LC-86**

Unter dieser Abfallsorte werden Betonabfälle («B») aus der Stilllegung («SA») des Kernkraftwerks Leibstadt («L»), zementiert in Betoncontainern des Typs LC-86 («L4»), zusammengefasst. Der Abfall fällt unter die KEV-Kategorie SMA.

**WA-F-KG-K1-HAA: Verglaste Konzentrate HAA AREVA (CSD-V) in 180-l-Kokille**

Aus der Wiederaufarbeitung («WA») abgebrannter Brennelemente der Kernkraftwerke stammen Kokillen («K1») mit hochaktiven («HAA») verglasten Konzentraten («KG»). Die hier aufgeführte Abfallsorte fasst die Kokillen zusammen, die in den Anlagen von Orano (früher AREVA oder COGEMA) in Frankreich («F») anfielen.

In Anhang C.1 wird der Aufbau der Abfallsortenreports anhand desjenigen der Abfallsorte BA-B-K-F2-SMA detailliert beschrieben. Die drei weiteren Abfallsortenreports sind in den Anhängen C.2 bis C.4 dargestellt. Es wird darauf hingewiesen, dass

- die in den Abfallsortenreports dargestellten Abbildungen von Gebinden zur Veranschaulichung dienen und nicht zwingend dem tatsächlichen Gebinde entsprechen
- Materialkenndaten allfälliger Endlagerverpackungen (siehe Kapitel 5.2 und 5.3) nicht enthalten sind.

## C.1 Aufbau der Abfallsortenreports – BA-B-K-F2-SMA

1

1b

1a

MIRAM-RBG Referenzjahr: 2075

**BA-B-K-F2-SMA - Konzentrate KKB in 200-l-Fass**

2

## SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES REPRÄSENTATIVEN GEBINDES

Abfallkategorie
**Betriebsabfälle**

Herkunft
**Beznau**

Rohabfall
**Konzentrate zementiert**

Behältertyp
**Fass [200 - 225 Liter]**

Form
**Zylinder**

Höhe
**0.88 - 0.89 m**

Durchmesser
**0.57 - 0.61 m**

Aussenvolumen
**0.218 - 0.221 m3**

Gesamtmasse
**342.22 - 444.36 kg**



3

## AUFBAU DER ABFALLSORTE AUS ABFALLGEBINDETYPEN (AGT)

| *Anzahl Gebinde* | *AGT Code* | *Bezeichnung* | *pro Gebinde* $m^3$ | *kg* |
|---|---|---|---|---|
| 76 | **J-B-000014** | Konzentrat Verdampfer zement-1978-(aus 1m3 BC ausgebohrt) | 2.18E-01 | 3.42E+02 |
| 233 | **J-B-000075** | Konzentrat Verdampfer zementiert - 1982 | 2.21E-01 | 4.44E+02 |
| 94 | **J-B-000095** | Konzentrat Verdampfer zement-1982-(aus 1m3 BC ausgebohrt) | 2.21E-01 | 4.44E+02 |
| 403 | **BA-B-K-F2-SMA** | Konzentrate KKB in 200-l-Fass | **2.21E-01** | **4.25E+02** |

3a 3b 3c 3d 3e

## Erläuterungen

### 1 Allgemeine Informationen zum AGT (Kopfzeile)

**1a** Deklaration Bezugsjahr für Nuklidinventar / radiologische Kenndaten

**1b** Abfallsorten-Codierung und -Bezeichnung

### 2 Schematische Darstellung des repräsentativen Gebindes

Illustratives Beispiel, nicht notwendigerweise repräsentativ oder abdeckend für die Gesamtheit enthaltener AGT

### 3 Aufbau der Abfallsorte aus AGT

**3a** Anzahl Gebinde pro zugewiesenem AGT bzw. Gesamtanzahl Gebinde pro Abfallsorte

**3b** Identifikationscode des zugewiesenen AGT bzw. der Abfallsorte

**3c** Bezeichnung des zugewiesenen AGT bzw. der Abfallsorte

**3d** Nominales Verdrängungsvolumen des zugewiesenen AGT bzw. des repräsentativen Gebindes der Abfallsorte

**3e** Nominale Masse des zugewiesenen AGT bzw. des repräsentativen Gebindes der Abfallsorte

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| **BA-B-K-F2-SMA - Konzentrate KKB in 200-l-Fass** | |

4

## MATERIALKENNDATEN FÜR DAS REPRÄSENTATIVE GEBINDE

### Materialinventar

4c 4d

| *Material* 4a | | *Masse [kg]* 4b | * | *Komponentenweise Aufschlüsselung [kg]* C Abfallprodukt | D Behälter | E Füllmaterial | F Einbauten | G Leerraum |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ::Zementstein -::Trass | | **3.65E+01** | A | 3.65E+01 | | | | |
| ::Zementstein -::Wasser | | **1.15E+02** | A | 1.06E+02 | | 8.55E+00 | | |
| ::Zementstein -::Zement HTS | | **1.22E+02** | A | 1.22E+02 | | | | |
| ::Zementstein -::Zement OPC | | **4.71E+01** | A | 2.83E+01 | | 1.88E+01 | | |
| Baustahl | | **1.90E+00** | M | | | | 1.90E+00 | |
| Butyldiglykol | | **1.43E-02** | O | 1.43E-02 | | | | |
| Calciummetaborat Ca(BO2)2 | | **1.86E+01** | A | 1.86E+01 | | | | |
| Detergentien | | **5.72E-02** | O | 5.72E-02 | | | | |
| Luft | | **2.75E-03** | A | | | | | 2.75E-03 |
| Magnetit Fe3O4 | | **1.09E-01** | A | 1.09E-01 | | | | |
| Melamin/Formaldehyd-Sulfonat | | **5.36E-02** | O | | | 5.36E-02 | | |
| Na-polyphosphat (NaPO3)n | | **5.59E-03** | A | | | 5.59E-03 | | |
| Na3(NTA) | | **2.86E-02** | O | 2.86E-02 | | | | |
| Natriumphosphat I Na2HPO4 | | **2.86E-02** | A | 2.86E-02 | | | | |
| Natriumphosphat II NaH2PO4 | | **2.86E-02** | A | 2.86E-02 | | | | |
| Sand | | **3.69E+01** | A | | | 3.69E+01 | | |
| Stahl | | **5.00E+00** | M | | 4.53E+00 | | 4.71E-01 | |
| Stahl 12.03 | | **1.95E+01** | M | | 1.95E+01 | | | |
| Tenside | | **1.43E-02** | O | 1.43E-02 | | | | |
| Vermiculit | | **3.58E+00** | A | 3.58E+00 | | | | |
| Weisskalkhydrat Ca(OH)2 | | **1.90E+01** | A | 1.90E+01 | | | | |
| Zellulose | | **5.72E-03** | O | 5.72E-03 | | | | |
| **Total** | | **4.25E+02** | | **3.34E+02** | **2.40E+01** | **6.43E+01** | **2.37E+00** | **2.75E-03** |
| * total | anorganisch/nichtmetallisch | **3.99E+02** | A | 3.34E+02 | | 6.43E+01 | | 2.75E-03 |
| | metallisch | **2.64E+01** | M | | 2.40E+01 | | 2.37E+00 | |
| | organisch | **1.74E-01** | O | 1.20E-01 | | 5.36E-02 | | |

5

### Oberflächen/Massen-Verhältnisse von Metallen

| *Material* | $m^2$ | *kg* | $m^2/kg$ |
|---|---|---|---|
| Baustahl | 1.94E-01 | 1.90E+00 | 1.02E-01 |
| Stahl | 1.13E+00 | 5.00E+00 | 2.25E-01 |
| Stahl 12.03 | 3.31E+00 | 1.95E+01 | 1.70E-01 |

5a 5b 5c 5d

## Erläuterungen

### 4 Nominales Materialinventar des repräsentativen Gebindes

**4a** Deklarationsbasis: Satz von Standardmaterialien. Standardmaterialien resultieren aus einer Konsolidierung von Materialdaten der Entsorgungspflichtigen durch die Nagra.

Standardmaterialien, welche im Rahmen der Konditionierung als Produkte einer chemischen Reaktion aus Edukten entstehen (Abfall/Bindemittel-Matrizen, Füllmaterialien), werden zwecks Verweis auf die Rezeptur durch folgende Konvention erfasst: "::<Produkt>-::<Edukt>"; im vorliegenden Beispiel betrifft dies Zementstein, welcher aus HTS-Zement und Wasser gebildet wird. Für Auswertungen lassen sich diese "Rezepturen" i. Allg. allein durch das Produkt repräsentieren (Summation aller Teilmassen).

**4b** Mittlere Masse des Standardmaterials

**4c** Grobgruppierung der Standardmaterialien, mit Massenbilanzierung nach Gruppen.

**4d** Aufteilung der mittleren Standardmaterialmassen nach Basiskomponenten C-G, zwecks (summarischer) Identifikation der Materialquellen (Abfall durch C, Verpackung durch übrige Komponenten).

Massenbeiträge von Abfallprodukten (C-Formulare) werden nicht auf Rohabfälle (A) und Zusatzstoffe (B) aufgeschlüsselt, weil verknüpfte A- und B-Formulare prozessorientiert und unter Berücksichtigung massen- bzw. materialrelevanter Abfallvorbehandlungen (z.B. Eindampfen oder chemische Justierung wässriger Lösungen) definiert sein können, sodass direkte Rückschlüsse auf "primäre" Rohabfallströme erschwert sind. Werden keine Bindemittel eingesetzt, sind Abfallprodukt und Rohabfall identisch.

### 5 Oberflächen/Massen-Verhältnisse von Metallen im repräsentativen Gebinde

**5a** Relevante Standardmaterialien: Metalle, welche unter Tiefenlagerbedingungen durch Wasser und andere Oxydantien unter $H_2$-Bildung degradiert werden (Korrosionsvorgänge).

**5b** Materialoberflächen [$m^2$]: Berechnung durch Multiplikation der Kennwerte 5c und 5d.

**5c** Mittlere Masse relevanter Standardmaterialien (siehe 4b)

**5d** Mittleres Oberflächen/Massen-Verhältnis

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| BA-B-K-F2-SMA - Konzentrate KKB in 200-l-Fass | |

6

## RADIOLOGISCHE KENNDATEN FÜR DAS REPRÄSENTATIVE GEBINDE

### Nuklidinventar

| *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Mittel* | *Maximal* | | *Mittel* | *Maximal* | | *Mittel* | *Maximal* | | *Mittel* | *Maximal* |
| H-3 | 5.0E+04 | 1.6E+05 | Sn-121M | 2.8E+05 | 3.3E+05 | Po-215 | 2.3E+00 | 5.3E+00 | U-237 | 1.6E+01 | 3.4E+01 |
| Be-10 | 1.8E+00 | 6.9E+00 | Sn-126 | 3.9E+04 | 3.0E+05 | Po-216 | 3.5E+01 | 8.1E+01 | U-238 | 7.2E+03 | 1.2E+04 |
| C-14 | 1.8E+09 | 5.8E+09 | Sb-126 | 5.4E+03 | 4.2E+04 | Rn-219 | 2.3E+00 | 5.3E+00 | Np-237 | 8.4E+02 | 1.4E+03 |
| Cl-36 | 1.6E+05 | 4.1E+05 | Sb-126M | 3.9E+04 | 3.0E+05 | Rn-220 | 3.5E+01 | 8.1E+01 | Np-238 | 1.2E+02 | 2.2E+02 |
| Ar-39 | 2.4E+03 | 9.5E+03 | I-129 | 5.5E+02 | 8.8E+02 | Ra-223 | 2.3E+00 | 5.3E+00 | Np-239 | 7.0E+04 | 1.2E+05 |
| Ca-41 | 1.0E+03 | 4.0E+03 | Cs-135 | 4.0E+04 | 4.0E+04 | Ra-224 | 3.5E+01 | 8.1E+01 | Pu-238 | 2.1E+06 | 3.2E+06 |
| Co-60 | 3.6E+04 | 3.6E+04 | Cs-137 | 4.7E+08 | 4.7E+08 | Ac-227 | 2.3E+00 | 5.3E+00 | Pu-239 | 2.3E+06 | 3.6E+06 |
| Ni-59 | 6.3E+07 | 1.7E+08 | Ba-133 | 1.3E+01 | 3.3E+01 | Th-227 | 2.3E+00 | 5.3E+00 | Pu-240 | 5.3E+06 | 8.3E+06 |
| Ni-63 | 3.4E+09 | 9.0E+09 | Ba-137M | 4.5E+08 | 4.5E+08 | Th-228 | 3.5E+01 | 8.1E+01 | Pu-241 | 6.6E+05 | 1.4E+06 |
| Se-79 | 2.6E+03 | 3.6E+03 | Pm-145 | 4.6E+00 | 5.8E+00 | Th-230 | 1.9E+01 | 3.0E+01 | Pu-242 | 5.5E+03 | 9.5E+03 |
| Sr-90 | 1.4E+07 | 2.2E+07 | Sm-151 | 8.2E+06 | 1.0E+07 | Th-231 | 1.9E+03 | 4.2E+03 | Am-241 | 1.4E+07 | 2.2E+07 |
| Y-90 | 1.4E+07 | 2.2E+07 | Eu-152 | 1.7E+04 | 6.5E+04 | Th-234 | 7.2E+03 | 1.2E+04 | Am-242 | 2.7E+04 | 4.8E+04 |
| Zr-93 | 6.3E+05 | 2.5E+06 | Eu-154 | 9.9E+02 | 3.8E+03 | Pa-231 | 3.5E+00 | 7.9E+00 | Am-242M | 2.7E+04 | 4.8E+04 |
| Nb-93M | 6.4E+05 | 2.5E+06 | Ho-166M | 4.6E+01 | 6.9E+01 | Pa-233 | 8.4E+02 | 1.4E+03 | Am-243 | 7.0E+04 | 1.2E+05 |
| Nb-94 | 6.8E+06 | 2.0E+07 | Pt-193 | 4.7E+04 | 4.7E+05 | Pa-234 | 1.1E+01 | 1.9E+01 | Cm-242 | 2.2E+04 | 4.0E+04 |
| Mo-93 | 3.0E+04 | 1.2E+05 | Tl-207 | 2.3E+00 | 5.3E+00 | Pa-234M | 7.2E+03 | 1.2E+04 | Cm-243 | 9.0E+03 | 1.8E+04 |
| Tc-99 | 4.6E+07 | 7.2E+07 | Tl-208 | 1.2E+01 | 2.9E+01 | U-232 | 3.4E+01 | 7.8E+01 | Cm-244 | 7.2E+04 | 1.1E+05 |
| Pd-107 | 7.2E+03 | 8.0E+03 | Pb-211 | 2.3E+00 | 5.3E+00 | U-233 | 2.5E-01 | 4.2E-01 | Cm-245 | 3.6E+03 | 7.2E+03 |
| Ag-108 | 7.3E+04 | 2.0E+05 | Pb-212 | 3.5E+01 | 8.1E+01 | U-234 | 2.3E+04 | 3.6E+04 | Cm-246 | 9.5E+02 | 2.2E+03 |
| Ag-108M | 8.4E+05 | 2.3E+06 | Bi-211 | 2.3E+00 | 5.3E+00 | U-235 | 1.9E+03 | 4.2E+03 | Summe α | 2.4E+07 | 3.8E+07 |
| Cd-113M | 2.6E+02 | 2.9E+02 | Bi-212 | 3.5E+01 | 8.1E+01 | U-235M | 2.3E+06 | 3.6E+06 | Summe βγ | 6.2E+09 | 1.6E+10 |
| Sn-121 | 2.2E+05 | 2.5E+05 | Po-212 | 2.2E+01 | 5.2E+01 | U-236 | 3.2E+02 | 5.1E+02 | **Total** | **6.3E+09** | **1.6E+10** |

6a 6b 6c

## Erläuterungen

**6** **Nuklidinventar (Referenzjahr) des repräsentativen Gebindes**

**6a** Mittel- oder Nominalwert: durchschnittliches Nuklidinventar des repräsentativen Gebindes der Abfallsorte, gemittelt aus den Nuklidinventaren der repräsentativen Gebinde der einzelnen AGT der Abfallsorte.

**6b** "Maximalwert": oberer Vertrauensbereich des durchschnittlichen Nuklidinventars unter Berücksichtigung der Unsicherheiten.

**6c** Gesamtinventare: Summation über die Aktivitäten aller Nuklide, unter Berücksichtigung nuklidspezifischer Zerfallskanäle (Alpha bzw. Beta / Gamma).

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| **BA-B-K-F2-SMA - Konzentrate KKB in 200-l-Fass** | |

7

**Spaltstoffinventar**

| *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Masse [g]* | |
|---|---|---|---|---|
| | *Mittel* | *Maximal* | *Mittel* | *Maximal* |
| U -233 -092 | 2.5E-01 | 4.2E-01 | 7.1E-10 | 1.2E-09 |
| U -235 -092 | 1.9E+03 | 4.2E+03 | 2.3E-02 | 5.3E-02 |
| Pu-238 -094 | 2.1E+06 | 3.2E+06 | 3.3E-06 | 5.1E-06 |
| Pu-239 -094 | 2.3E+06 | 3.6E+06 | 1.0E-03 | 1.6E-03 |
| Pu-241 -094 | 6.6E+05 | 1.4E+06 | 1.7E-07 | 3.6E-07 |
| Am-242M-095 | 2.7E+04 | 4.8E+04 | 7.0E-08 | 1.2E-07 |
| Cm-243 -096 | 9.0E+03 | 1.8E+04 | 4.8E-09 | 9.5E-09 |
| Cm-245 -096 | 3.6E+03 | 7.2E+03 | 5.7E-07 | 1.1E-06 |
| **Total** | **5.1E+06** | **8.3E+06** | **2.4E-02** | **5.5E-02** |

8

**Dosisleistungen an Gebindeoberfläche (0m)**

| *Strahlungsart* | *Dosisleistung [mSv/h]* | |
|---|---|---|
| | *Mittel* | *Maximal* |
| Gamma | 4.2E-02 | 4.5E-02 |
| Neutronen | 0.0E+00 | 0.0E+00 |

9

**Mittlere Gesamtaktivität und Wärmeleistung (ab Referenzjahr)**

9a 9b

| *Jahre* | *Aktivität [Bq]* | | | *Wärmeleistung [W]* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *∑α* | *∑βγ* | *Total* | *∑α* | *∑βγ* | *Total* |
| **3** | 2.4E+07 | 6.1E+09 | 6.1E+09 | 2.1E-05 | 8.6E-05 | 1.1E-04 |
| **10** | 2.3E+07 | 5.8E+09 | 5.8E+09 | 2.1E-05 | 7.6E-05 | 9.7E-05 |
| **30** | 2.3E+07 | 5.1E+09 | 5.1E+09 | 2.0E-05 | 5.6E-05 | 7.6E-05 |
| **100** | 2.0E+07 | 3.7E+09 | 3.7E+09 | 1.8E-05 | 2.8E-05 | 4.6E-05 |
| **1000** | 9.9E+06 | 1.7E+09 | 1.7E+09 | 8.5E-06 | 1.5E-05 | 2.3E-05 |
| **3000** | 6.2E+06 | 1.4E+09 | 1.4E+09 | 5.2E-06 | 1.2E-05 | 1.7E-05 |
| **10000** | 3.7E+06 | 6.4E+08 | 6.4E+08 | 3.1E-06 | 6.0E-06 | 9.1E-06 |
| **30000** | 1.3E+06 | 1.4E+08 | 1.4E+08 | 1.1E-06 | 1.5E-06 | 2.6E-06 |
| **100000** | 2.6E+05 | 6.1E+07 | 6.1E+07 | 2.3E-07 | 4.2E-07 | 6.4E-07 |
| **300000** | 1.5E+05 | 2.3E+07 | 2.3E+07 | 1.4E-07 | 1.8E-07 | 3.2E-07 |
| **1000000** | 1.0E+05 | 2.7E+06 | 2.8E+06 | 9.3E-08 | 2.7E-08 | 1.2E-07 |

## Erläuterungen

### 7 Spaltstoffinventar (Referenzjahr)

Auszug / Zusammenzug der Aktivitätsinventare spaltbarer Nuklide aus dem Nuklidinventar zum Referenzjahr – vgl. Punkt 6.

### 8 Dosisleistung an Gebindeoberfläche (Referenzjahr)

"Gamma", "Mittel": rechnerische Abschätzung durch Nagra aus mittlerem Nuklidinventar (Referenzjahr) gemäss 6a, unter Berücksichtigung des mittleren Materialinventars gemäss 4a/4b und der Struktur des repräsentativen Gebindes.

"Gamma", "Maximal": rechnerische Abschätzung durch Nagra wie "Gamma", "Mittel", unter Verwendung des maximalen Nuklidinventars (Referenzjahr) gemäss 6b.

"Neutronen", "Mittel": rechnerische Abschätzung der mittleren Neutronen-Dosisleistung durch Nagra.

"Neutronen", "Maximal": rechnerische Abschätzung der maximalen Neutronen-Dosisleistung durch Nagra.

### 9 Entwicklung der Aktivität und Wärmeleistung über die Zeit (ab Referenzjahr)

**9a** Berechnung der mittleren Nuklidinventare für ausgewählte Zeitpunkte ab Referenzjahr, Inventarzusammenfassung mittels Summationsregeln gemäss 6c.

**9b** Mittlere Wärmeleistung für ausgewählte Zeitpunkte ab Referenzjahr, berechnet aus zugehörigen mittleren Nuklidinventaren und nuklidspezifischen Wärmeleistungen [W/Bq].

10

**Mittlere radiolytische Gasproduktion (ab Referenzjahr)**

| *Jahr* | *Produktion [l/a]* | *Kumuliert [m$^3$]* |
|---|---|---|
| 0 | 1.4E-03 | 1.4E-06 |
| 5 | 1.4E-03 | 8.4E-06 |
| 10 | 1.3E-03 | 1.5E-05 |
| 20 | 1.2E-03 | 2.7E-05 |
| 40 | 9.7E-04 | 4.8E-05 |
| 80 | 7.6E-04 | 8.2E-05 |
| 100 | 7.0E-04 | 9.7E-05 |

## Erläuterungen

**10 Mittlere radiolytische Gasproduktion (ab Referenzjahr)**

Berechnete mittlere Rate der Radiolysegasproduktion sowie kumuliertes Radiolysegasvolumen für ausgewählte Zeitpunkte ab Referenzjahr, basierend auf zugehörigem mittlerem Nuklidinventar.

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| BA-B-K-F2-SMA - Konzentrate KKB in 200-l-Fass | |

**KENNDATEN FÜR DIE ABFALLSORTE**

11

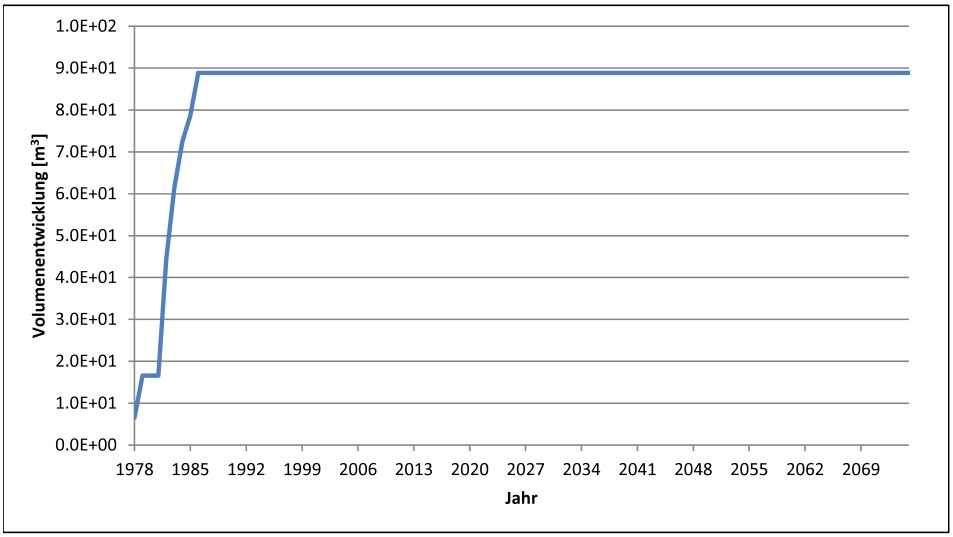
**Volumenfestlegung**

| | *repräsentatives Gebinde* | *Abfallsorte gesamt* |
|---|---|---|
| Anzahl Gebinde | | 403 |
| Volumen [$m^3$] | 2.21E-01 | 8.89E+01 |

11a 11b

12

**Zeitliche Entwicklung des Gesamtvolumens**



## Erläuterungen

**11 Volumenfestlegung (Referenzjahr)**

**11a** Nominales Verdrängungsvolumen des repräsentativen Gebindes der Abfallsorte – vgl. Punkt 3d.

**11b** Produkt aus nominalem Volumen des repräsentativen Gebindes (11a) und der Gesamtanzahl Gebinde pro Abfallsorte

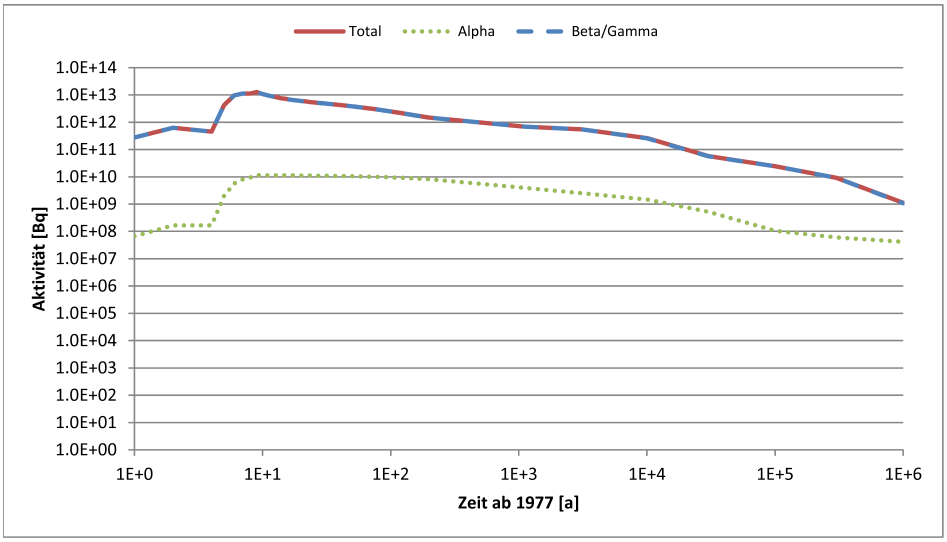
**12 Zeitliche Entwicklung des Gesamtvolumens**

Graphische Darstellung der Abfallvolumenentwicklung im Produktionszeitraum bis Referenzjahr

13

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| BA-B-K-F2-SMA - Konzentrate KKB in 200-l-Fass | |

**Aktivitätsverlauf der Gesamtproduktion**



## Erläuterungen

**13 Aktivitätsverlauf der Gesamtproduktion ab Produktionsbeginn**

Graphische Darstellung des Aktivitätsverlaufs der Abfallsorte bis $10^6$ Jahre nach Beginn der Produktion.

## C.2 Abfallsortenreports – RA-G-MX-M2-SMA

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| **RA-G-MX-M2-SMA - Reaktoreinbauten KKG in Mosaik-II** | |

## SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES REPRÄSENTATIVEN GEBINDES

Abfallkategorie
**Reaktorabfälle**

Herkunft
**Gösgen**

Rohabfall
**Metalle gemischt**

Behältertyp
**Mosaik-II-Behälter [1.3 m3]**

Form
**Zylinder**

Höhe
**1.50 m**

Durchmesser
**1.06 m**

Aussenvolumen
**1.301 m3**

Gesamtmasse
**9743.37 kg**




## AUFBAU DER ABFALLSORTE AUS ABFALLGEBINDETYPEN (AGT)

| *Anzahl* | | | *pro Gebinde* | |
|---|---|---|---|---|
| *Gebinde* | *AGT Code* | *Bezeichnung* | *$m^3$* | *kg* |
| 15 | **J-G-000087** | CORESCHROTT SPHÄROGUSSBEHÄLTER | 1.30E+00 | 9.74E+03 |
| 1 | **J-G-000089** | CORESCHROTT SPHÄROGUSSBEHÄLTER CF 252 | 1.30E+00 | 9.74E+03 |
| 16 | **RA-G-MX-M2-SMA** | Reaktoreinbauten KKG in Mosaik-II | **1.30E+00** | **9.74E+03** |

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| **RA-G-MX-M2-SMA - Reaktoreinbauten KKG in Mosaik-II** | |

## MATERIALKENNDATEN FÜR DAS REPRÄSENTATIVE GEBINDE

### Materialinventar

| *Material* | *Masse [kg]* | * | *Komponentenweise Aufschlüsselung [kg]* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *C* | *D* | *E* | *F* | *G* |
| | | | *Abfallprodukt* | *Behälter* | *Füllmaterial* | *Einbauten* | *Leerraum* |
| Beryllium Be | **4.96E-01** | M | 4.96E-01 | | | | |
| Blei Pb | **3.52E+03** | M | | | | 3.52E+03 | |
| Cobalt Co | **4.54E-03** | M | 4.54E-03 | | | | |
| Glas | **8.89E+01** | A | 2.77E+01 | | 6.13E+01 | | |
| Gummi | **5.88E-01** | O | | 5.88E-01 | | | |
| Gusseisen | **5.82E+03** | M | | 5.82E+03 | | | |
| Inconel 600 | **5.29E-02** | M | 5.29E-02 | | | | |
| Inconel 750 | **2.88E+01** | M | 2.88E+01 | | | | |
| Keramik | **7.51E-01** | A | 7.51E-01 | | | | |
| Luft | **1.16E-01** | A | | | | | 1.16E-01 |
| Magnetit Fe3O4 | **3.78E-02** | A | 3.78E-02 | | | | |
| Silber Ag | **1.58E+01** | M | 1.58E+01 | | | | |
| Stahl 1.4541 | **8.47E+01** | M | 8.47E+01 | | | | |
| Stahl 1.4550 | **5.01E+01** | M | 2.01E+01 | | | 3.00E+01 | |
| Stahl 1.4571 | **7.20E+01** | M | 7.20E+01 | | | | |
| Stahl 12.03 | **5.88E+01** | M | | 5.88E+01 | | | |
| Wolfram W | **1.64E+00** | M | 1.64E+00 | | | | |
| Zirconiumoxid ZrO2 | **3.78E-02** | A | 3.78E-02 | | | | |
| **Total** | **9.74E+03** | | **2.52E+02** | **5.88E+03** | **6.13E+01** | **3.55E+03** | **1.16E-01** |
| * total anorganisch/nichtmetallisch | **8.99E+01** | A | 2.85E+01 | | 6.13E+01 | | 1.16E-01 |
| metallisch | **9.65E+03** | M | 2.24E+02 | 5.88E+03 | | 3.55E+03 | |
| organisch | **5.88E-01** | O | | 5.88E-01 | | | |

### Oberflächen/Massen-Verhältnisse von Metallen

| *Material* | *$m^2$* | *kg* | *$m^2/kg$* |
|---|---|---|---|
| Beryllium Be | 1.70E-01 | 4.96E-01 | 3.42E-01 |
| Blei Pb | 5.17E+00 | 3.52E+03 | 1.47E-03 |
| Cobalt Co | 1.02E-03 | 4.54E-03 | 2.25E-01 |
| Gusseisen | 9.45E+00 | 5.82E+03 | 1.62E-03 |
| Inconel 600 | 4.30E-02 | 5.29E-02 | 8.13E-01 |
| Inconel 750 | 1.10E+00 | 2.88E+01 | 3.83E-02 |
| Silber Ag | 6.36E-01 | 1.58E+01 | 4.02E-02 |
| Stahl 1.4541 | 2.27E+01 | 8.47E+01 | 2.68E-01 |
| Stahl 1.4550 | 2.92E+00 | 5.01E+01 | 5.84E-02 |
| Stahl 1.4571 | 2.28E+01 | 7.20E+01 | 3.17E-01 |
| Stahl 12.03 | 3.15E+00 | 5.88E+01 | 5.35E-02 |
| Wolfram W | 3.39E-01 | 1.64E+00 | 2.07E-01 |

**MIRAM-RBG** **Referenzjahr: 2075**

**RA-G-MX-M2-SMA - Reaktoreinbauten KKG in Mosaik-II**

## RADIOLOGISCHE KENNDATEN FÜR DAS REPRÄSENTATIVE GEBINDE

### Nuklidinventar

| *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Mittel* | *Maximal* | | *Mittel* | *Maximal* | | *Mittel* | *Maximal* | | *Mittel* | *Maximal* |
| H-3 | 1.4E+10 | 5.2E+10 | Cd-113M | 8.8E+01 | 1.0E+02 | Tl-208 | 5.9E+00 | 1.3E+01 | Np-237 | 2.6E+02 | 4.1E+02 |
| Be-10 | 5.7E+04 | 2.2E+05 | Sn-121 | 1.4E+04 | 1.6E+04 | Pb-212 | 1.6E+01 | 3.6E+01 | Np-238 | 4.6E+01 | 7.8E+01 |
| C-14 | 2.5E+10 | 8.3E+10 | Sn-121M | 1.8E+04 | 2.0E+04 | Bi-212 | 1.6E+01 | 3.6E+01 | Np-239 | 2.0E+04 | 3.5E+04 |
| Cl-36 | 5.1E+08 | 1.6E+09 | Sn-126 | 1.2E+03 | 3.6E+03 | Po-212 | 1.0E+01 | 2.3E+01 | Pu-238 | 3.9E+05 | 5.4E+05 |
| Ar-39 | 8.9E+07 | 3.5E+08 | Sb-125 | 5.6E+03 | 1.7E+04 | Po-216 | 1.6E+01 | 3.6E+01 | Pu-239 | 1.3E+06 | 1.8E+06 |
| Ca-41 | 3.3E+07 | 1.3E+08 | Sb-126 | 1.7E+02 | 5.1E+02 | Rn-220 | 1.6E+01 | 3.6E+01 | Pu-240 | 2.9E+06 | 4.2E+06 |
| Fe-55 | 1.9E+10 | 6.2E+10 | Sb-126M | 1.2E+03 | 3.6E+03 | Ra-224 | 1.6E+01 | 3.6E+01 | Pu-241 | 4.0E+07 | 6.3E+07 |
| Co-60 | 1.3E+12 | 1.3E+12 | Te-125M | 1.4E+03 | 4.1E+03 | Th-228 | 1.6E+01 | 3.6E+01 | Pu-242 | 1.6E+03 | 2.6E+03 |
| Ni-59 | 4.3E+11 | 1.3E+12 | I-129 | 3.7E+01 | 4.0E+01 | Th-231 | 3.9E+00 | 6.5E+00 | Am-241 | 1.2E+07 | 1.8E+07 |
| Ni-63 | 3.2E+13 | 9.8E+13 | Cs-134 | 1.0E+05 | 1.7E+05 | Th-234 | 9.7E+02 | 1.3E+03 | Am-242 | 9.9E+03 | 1.7E+04 |
| Se-79 | 7.7E+01 | 1.0E+02 | Cs-135 | 1.2E+03 | 1.2E+03 | Pa-233 | 2.6E+02 | 4.1E+02 | Am-242M | 9.9E+03 | 1.7E+04 |
| Sr-90 | 2.1E+07 | 2.9E+07 | Cs-137 | 4.2E+07 | 4.2E+07 | Pa-234 | 1.5E+00 | 2.0E+00 | Am-243 | 2.0E+04 | 3.5E+04 |
| Y-90 | 2.1E+07 | 2.9E+07 | Ba-133 | 1.1E+01 | 2.8E+01 | Pa-234M | 9.7E+02 | 1.3E+03 | Cm-242 | 8.2E+03 | 1.4E+04 |
| Zr-93 | 2.1E+10 | 8.0E+10 | Ba-137M | 4.0E+07 | 4.0E+07 | U-232 | 1.6E+01 | 3.5E+01 | Cm-243 | 8.3E+03 | 1.6E+04 |
| Nb-93M | 1.9E+10 | 7.2E+10 | Pm-147 | 6.2E+03 | 6.6E+03 | U-233 | 3.8E-02 | 6.0E-02 | Cm-244 | 8.2E+03 | 1.2E+04 |
| Nb-94 | 3.7E+08 | 1.2E+09 | Sm-151 | 3.4E+05 | 4.2E+05 | U-234 | 3.4E+02 | 5.1E+02 | Cm-245 | 1.1E+03 | 2.0E+03 |
| Mo-93 | 9.8E+08 | 3.8E+09 | Eu-152 | 7.3E+09 | 2.8E+10 | U-235 | 3.9E+00 | 6.5E+00 | Cm-246 | 2.8E+02 | 6.1E+02 |
| Tc-99 | 1.3E+08 | 1.6E+08 | Eu-154 | 2.1E+09 | 8.2E+09 | U-235M | 1.3E+06 | 1.8E+06 | | | |
| Pd-107 | 2.1E+02 | 2.3E+02 | Eu-155 | 7.1E+07 | 2.8E+08 | U-236 | 9.4E+01 | 1.4E+02 | Summe α | 1.6E+07 | 2.5E+07 |
| Ag-108 | 1.3E+12 | 4.9E+12 | Ho-166M | 1.4E+00 | 2.1E+00 | U-237 | 9.8E+02 | 1.5E+03 | Summe βγ | 5.0E+13 | 1.6E+14 |
| Ag-108M | 1.5E+13 | 5.6E+13 | Pt-193 | 2.6E+03 | 2.6E+04 | U-238 | 9.7E+02 | 1.3E+03 | **Total** | **5.0E+13** | **1.6E+14** |

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|

**RA-G-MX-M2-SMA - Reaktoreinbauten KKG in Mosaik-II**

**Spaltstoffinventar**

| *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Masse [g]* | |
|---|---|---|---|---|
| | *Mittel* | *Maximal* | *Mittel* | *Maximal* |
| U -233 -092 | 3.8E-02 | 6.0E-02 | 1.1E-10 | 1.7E-10 |
| U -235 -092 | 3.9E+00 | 6.5E+00 | 4.9E-05 | 8.2E-05 |
| Pu-238 -094 | 3.9E+05 | 5.4E+05 | 6.1E-07 | 8.5E-07 |
| Pu-239 -094 | 1.3E+06 | 1.8E+06 | 5.5E-04 | 8.0E-04 |
| Pu-241 -094 | 4.0E+07 | 6.3E+07 | 1.0E-05 | 1.6E-05 |
| Am-242M-095 | 9.9E+03 | 1.7E+04 | 2.6E-08 | 4.4E-08 |
| Cm-243 -096 | 8.3E+03 | 1.6E+04 | 4.4E-09 | 8.3E-09 |
| Cm-245 -096 | 1.1E+03 | 2.0E+03 | 1.7E-07 | 3.1E-07 |
| **Total** | **4.2E+07** | **6.5E+07** | **6.1E-04** | **9.0E-04** |

**Dosisleistungen an Gebindeoberfläche (0m)**

| *Strahlungsart* | *Dosisleistung [mSv/h]* | |
|---|---|---|
| | *Mittel* | *Maximal* |
| Gamma | 4.7E-04 | 4.7E-04 |
| Neutronen | 0.0E+00 | 0.0E+00 |

**Mittlere Gesamtaktivität und Wärmeleistung (ab Referenzjahr)**

| *Jahre* | *Aktivität [Bq]* | | | *Wärmeleistung [W]* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *∑α* | *∑βγ* | *Total* | *∑α* | *∑βγ* | *Total* |
| **3** | 1.6E+07 | 4.9E+13 | 4.9E+13 | 1.4E-05 | 4.6E+00 | 4.6E+00 |
| **10** | 1.7E+07 | 4.7E+13 | 4.7E+13 | 1.5E-05 | 4.3E+00 | 4.3E+00 |
| **30** | 1.7E+07 | 4.2E+13 | 4.2E+13 | 1.5E-05 | 4.1E+00 | 4.1E+00 |
| **100** | 1.5E+07 | 3.1E+13 | 3.1E+13 | 1.4E-05 | 3.6E+00 | 3.6E+00 |
| **1000** | 6.5E+06 | 4.0E+12 | 4.0E+12 | 5.6E-06 | 8.6E-01 | 8.6E-01 |
| **3000** | 3.4E+06 | 6.2E+11 | 6.2E+11 | 2.9E-06 | 3.7E-02 | 3.7E-02 |
| **10000** | 2.0E+06 | 4.4E+11 | 4.4E+11 | 1.7E-06 | 7.5E-04 | 7.5E-04 |
| **30000** | 6.7E+05 | 3.7E+11 | 3.7E+11 | 5.6E-07 | 5.8E-04 | 5.8E-04 |
| **100000** | 8.6E+04 | 2.1E+11 | 2.1E+11 | 7.3E-08 | 3.7E-04 | 3.7E-04 |
| **300000** | 2.2E+04 | 6.4E+10 | 6.4E+10 | 2.1E-08 | 1.8E-04 | 1.8E-04 |
| **1000000** | 2.4E+04 | 2.6E+10 | 2.6E+10 | 2.3E-08 | 1.0E-04 | 1.0E-04 |

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| **RA-G-MX-M2-SMA - Reaktoreinbauten KKG in Mosaik-II** | |

**Mittlere radiolytische Gasproduktion (ab Referenzjahr)**

| *Jahr* | *Produktion [l/a]* | *Kumuliert [$m^3$]* |
|---|---|---|
| 0 | 6.4E-05 | 6.4E-08 |
| 5 | 6.0E-05 | 3.7E-07 |
| 10 | 5.8E-05 | 6.6E-07 |
| 20 | 5.5E-05 | 1.2E-06 |
| 40 | 5.3E-05 | 2.3E-06 |
| 80 | 5.0E-05 | 4.4E-06 |
| 100 | 4.8E-05 | 5.3E-06 |

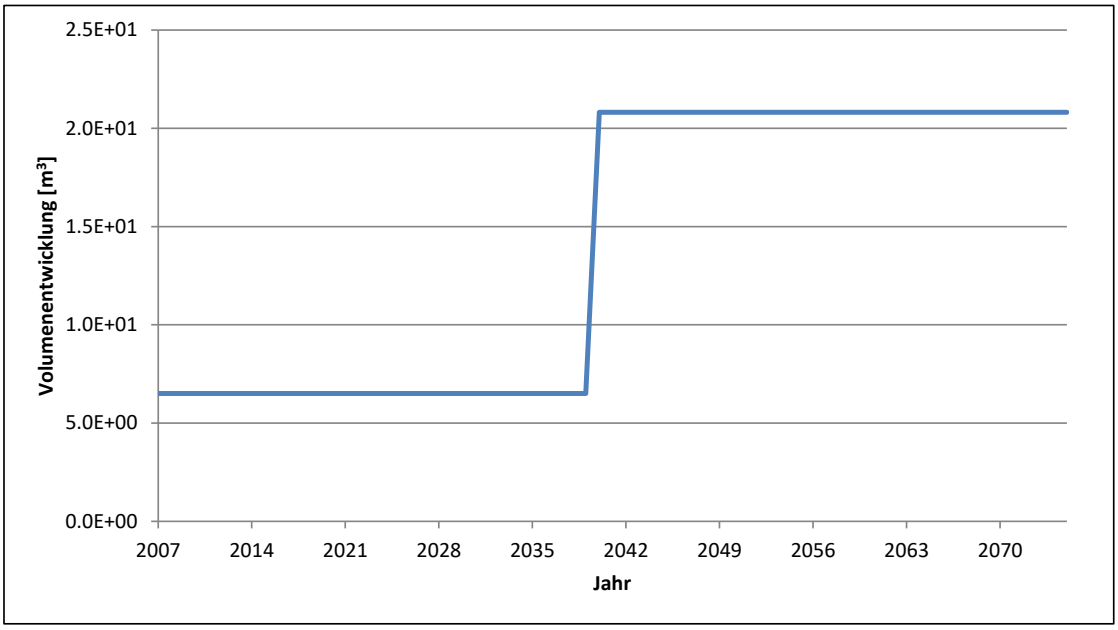
| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| **RA-G-MX-M2-SMA - Reaktoreinbauten KKG in Mosaik-II** | |

**KENNDATEN FÜR DIE ABFALLSORTE**

**Volumenfestlegung**

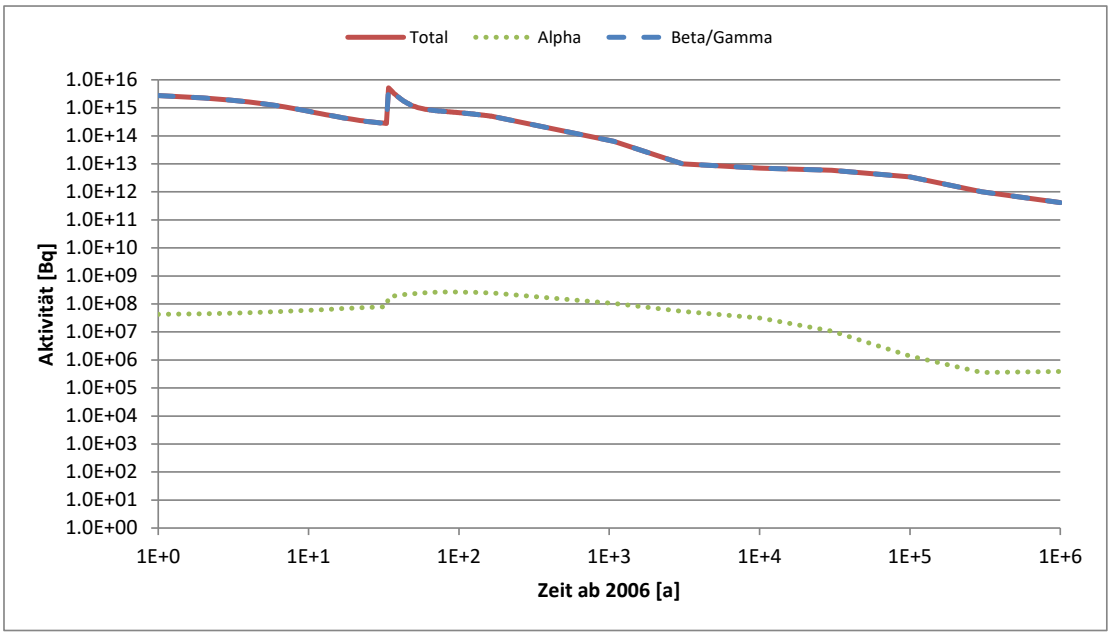
| | *repräsentatives Gebinde* | *Abfallsorte gesamt* |
|---|---|---|
| Anzahl Gebinde | | 16 |
| Volumen [$m^3$] | 1.30E+00 | 2.08E+01 |

**Zeitliche Entwicklung des Gesamtvolumens**



| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| **RA-G-MX-M2-SMA - Reaktoreinbauten KKG in Mosaik-II** | |

**Aktivitätsverlauf der Gesamtproduktion**



## C.3 Abfallsortenreports – SA-L-B-L4-SMA

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|

**SA-L-B-L4-SMA - Betonabfälle KKL in LC-86**

## SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES REPRÄSENTATIVEN GEBINDES

Abfallkategorie
**Stilllegungsabfälle**

Herkunft
**Leibstadt**

Rohabfall
**Beton**

Behältertyp
**Lagerbehälter LC-86 [9.4 m3]**

Form
**Quader**

Höhe
**1.95 m**

Länge
**2.44 m**

Tiefe
**1.98 m**

Aussenvolumen
**9.404 m3**

Gesamtmasse
**19106.17 kg**



## AUFBAU DER ABFALLSORTE AUS ABFALLGEBINDETYPEN (AGT)

| *Anzahl Gebinde* | *AGT Code* | *Bezeichnung* | *pro Gebinde* $m^3$ | *kg* |
|---|---|---|---|---|
| 51 | **J-L-9321310** | @ SA-KKL Betongranulat aus Gebäudedeko / LC-86 | 9.40E+00 | 1.91E+04 |
| 51 | **SA-L-B-L4-SMA** | Betonabfälle KKL in LC-86 | **9.40E+00** | **1.91E+04** |

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| **SA-L-B-L4-SMA - Betonabfälle KKL in LC-86** | |

## MATERIALKENNDATEN FÜR DAS REPRÄSENTATIVE GEBINDE

### Materialinventar

| *Material* | *Masse [kg]* | * | *Komponentenweise Aufschlüsselung [kg]* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *C* | *D* | *E* | *F* | *G* |
| | | | *Abfallprodukt* | *Behälter* | *Füllmaterial* | *Einbauten* | *Leerraum* |
| ::Zementstein -::BOS | **1.07E+02** | A | | | 1.07E+02 | | |
| ::Zementstein -::Filler | **9.62E+01** | A | | | 9.62E+01 | | |
| ::Zementstein -::Wasser | **1.08E+03** | A | | 7.60E+02 | 3.21E+02 | | |
| ::Zementstein -::Zement OPC | **2.11E+03** | A | | 1.77E+03 | 3.31E+02 | | |
| Beton | **7.67E+03** | A | 7.67E+03 | | | | |
| Eisen(II)sulfat FeSO4 | **9.69E-01** | A | | 9.69E-01 | | | |
| Kalk CaCO3 | **6.17E+02** | A | | 6.17E+02 | | | |
| Kies | **2.57E+03** | A | | 2.57E+03 | | | |
| LaurylaminPEglycolether | **6.88E-01** | O | | 6.88E-01 | | | |
| Luft | **1.06E-01** | A | | 1.06E-01 | | | |
| Polyacrylamid | **3.12E+00** | O | | 3.12E+00 | | | |
| Polycarboxylate | **8.18E+00** | O | | 8.18E+00 | | | |
| Polyethylen (C2H4)n | **9.74E+00** | O | | 9.74E+00 | | | |
| Polypropylen (C3H6)n | **3.39E+00** | O | | 3.39E+00 | | | |
| Sand | **3.47E+03** | A | | 3.47E+03 | | | |
| Silikone | **2.43E+00** | A | | 2.43E+00 | | | |
| Stahl III SIA 162 | **1.36E+03** | M | | 1.36E+03 | | | |
| Weinsäure | **2.43E+00** | O | | 2.43E+00 | | | |
| **Total** | **1.91E+04** | | **7.67E+03** | **1.06E+04** | **8.55E+02** | **0.00E+00** | **0.00E+00** |
| * total anorganisch/nichtmetallisch | **1.77E+04** | A | 7.67E+03 | 9.19E+03 | 8.55E+02 | | |
| metallisch | **1.36E+03** | M | | 1.36E+03 | | | |
| organisch | **2.75E+01** | O | | 2.75E+01 | | | |

### Oberflächen/Massen-Verhältnisse von Metallen

| *Material* | *$m^2$* | *kg* | *$m^2/kg$* |
|---|---|---|---|
| Stahl III SIA 162 | 5.20E+01 | 1.36E+03 | 3.82E-02 |

**MIRAM-RBG** **Referenzjahr: 2075**

**SA-L-B-L4-SMA - Betonabfälle KKL in LC-86**

## RADIOLOGISCHE KENNDATEN FÜR DAS REPRÄSENTATIVE GEBINDE

### Nuklidinventar

| *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Mittel* | *Maximal* | | *Mittel* | *Maximal* | | *Mittel* | *Maximal* | | *Mittel* | *Maximal* |
| H-3 | 1.7E+02 | 8.7E+02 | Nb-94 | 5.5E+01 | 2.8E+02 | Cs-137 | 3.8E+05 | 1.9E+06 | Pu-240 | 1.0E+02 | 5.1E+02 |
| C-14 | 7.1E+03 | 3.5E+04 | Tc-99 | 6.6E+02 | 3.3E+03 | Ba-137M | 3.6E+05 | 1.8E+06 | Pu-241 | 2.8E+03 | 1.4E+04 |
| Cl-36 | 1.0E+01 | 5.1E+01 | Ag-108 | 4.5E+00 | 2.3E+01 | Eu-154 | 8.5E+02 | 4.3E+03 | Am-241 | 5.2E+02 | 2.6E+03 |
| Fe-55 | 4.3E+03 | 2.1E+04 | Ag-108M | 5.2E+01 | 2.6E+02 | U-233 | 6.2E-09 | 3.1E-08 | Cm-243 | 2.0E-01 | 1.0E+00 |
| Co-60 | 2.7E+05 | 1.3E+06 | Sb-125 | 1.1E+01 | 5.4E+01 | U-235 | 1.3E-06 | 6.3E-06 | Cm-244 | 2.9E+01 | 1.5E+02 |
| Ni-63 | 6.1E+05 | 3.0E+06 | Te-125M | 2.6E+00 | 1.3E+01 | U-235M | 5.1E+01 | 2.5E+02 | Summe α | 1.1E+03 | 5.4E+03 |
| Sr-90 | 5.1E+04 | 2.6E+05 | I-129 | 4.5E-01 | 2.2E+00 | Pu-238 | 3.8E+02 | 1.9E+03 | Summe βγ | 1.7E+06 | 8.6E+06 |
| Y-90 | 5.1E+04 | 2.6E+05 | Cs-134 | 2.3E+00 | 1.1E+01 | Pu-239 | 5.1E+01 | 2.5E+02 | **Total** | **1.7E+06** | **8.6E+06** |

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|

**SA-L-B-L4-SMA - Betonabfälle KKL in LC-86**

**Spaltstoffinventar**

| *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Masse [g]* | |
|---|---|---|---|---|
| | *Mittel* | *Maximal* | *Mittel* | *Maximal* |
| U -233 -092 | 6.2E-09 | 3.1E-08 | 1.8E-17 | 8.8E-17 |
| U -235 -092 | 1.3E-06 | 6.3E-06 | 1.6E-11 | 7.8E-11 |
| Pu-238 -094 | 3.8E+02 | 1.9E+03 | 6.0E-10 | 3.0E-09 |
| Pu-239 -094 | 5.1E+01 | 2.5E+02 | 2.2E-08 | 1.1E-07 |
| Pu-241 -094 | 2.8E+03 | 1.4E+04 | 7.2E-10 | 3.6E-09 |
| Cm-243 -096 | 2.0E-01 | 1.0E+00 | 1.1E-13 | 5.4E-13 |
| **Total** | **3.2E+03** | **1.6E+04** | **2.4E-08** | **1.2E-07** |

**Dosisleistungen an Gebindeoberfläche (0m)**

| *Strahlungsart* | *Dosisleistung [mSv/h]* | |
|---|---|---|
| | *Mittel* | *Maximal* |
| Gamma | 2.5E-06 | 1.2E-05 |
| Neutronen | 0.0E+00 | 0.0E+00 |

**Mittlere Gesamtaktivität und Wärmeleistung (ab Referenzjahr)**

| *Jahre* | *Aktivität [Bq]* | | | *Wärmeleistung [W]* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *∑α* | *∑βγ* | *Total* | *∑α* | *∑βγ* | *Total* |
| **3** | 1.1E+03 | 1.6E+06 | 1.6E+06 | 9.6E-10 | 1.3E-07 | 1.3E-07 |
| **10** | 1.1E+03 | 1.3E+06 | 1.3E+06 | 9.5E-10 | 7.8E-08 | 7.9E-08 |
| **30** | 1.0E+03 | 9.3E+05 | 9.3E+05 | 9.1E-10 | 3.3E-08 | 3.4E-08 |
| **100** | 8.5E+02 | 4.0E+05 | 4.0E+05 | 7.5E-10 | 6.7E-09 | 7.4E-09 |
| **1000** | 2.6E+02 | 7.7E+03 | 8.0E+03 | 2.3E-10 | 7.6E-11 | 3.1E-10 |
| **3000** | 1.3E+02 | 5.7E+03 | 5.8E+03 | 1.1E-10 | 5.9E-11 | 1.7E-10 |
| **10000** | 7.4E+01 | 2.8E+03 | 2.9E+03 | 6.2E-11 | 3.4E-11 | 9.6E-11 |
| **30000** | 2.6E+01 | 8.4E+02 | 8.6E+02 | 2.2E-11 | 1.3E-11 | 3.5E-11 |
| **100000** | 3.4E+00 | 4.9E+02 | 4.9E+02 | 2.9E-12 | 5.2E-12 | 8.0E-12 |
| **300000** | 7.5E-01 | 2.5E+02 | 2.5E+02 | 7.2E-13 | 2.5E-12 | 3.2E-12 |
| **1000000** | 5.7E-01 | 2.7E+01 | 2.7E+01 | 5.6E-13 | 2.9E-13 | 8.5E-13 |

**Mittlere radiolytische Gasproduktion (ab Referenzjahr)**

| *Jahr* | *Produktion [l/a]* | *Kumuliert [$m^3$]* |
|---|---|---|
| 0 | 1.7E-06 | 1.7E-09 |
| 5 | 1.1E-06 | 8.1E-09 |
| 10 | 7.6E-07 | 1.2E-08 |
| 20 | 4.6E-07 | 1.8E-08 |
| 40 | 2.6E-07 | 2.5E-08 |
| 80 | 1.1E-07 | 3.2E-08 |
| 100 | 7.8E-08 | 3.4E-08 |

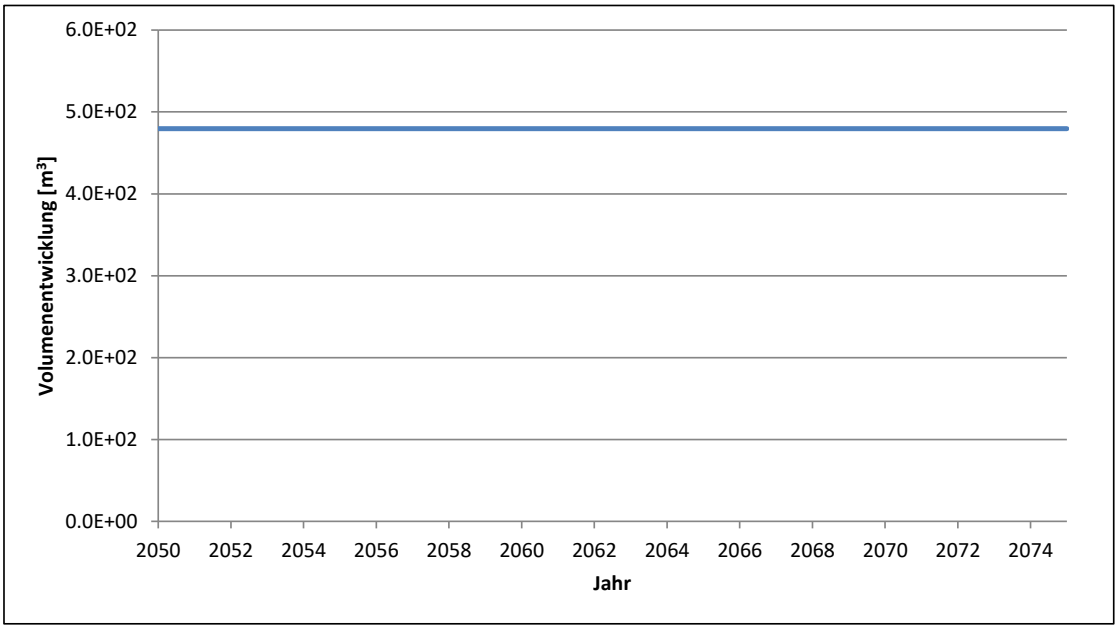
| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| **SA-L-B-L4-SMA - Betonabfälle KKL in LC-86** | |

**KENNDATEN FÜR DIE ABFALLSORTE**

**Volumenfestlegung**

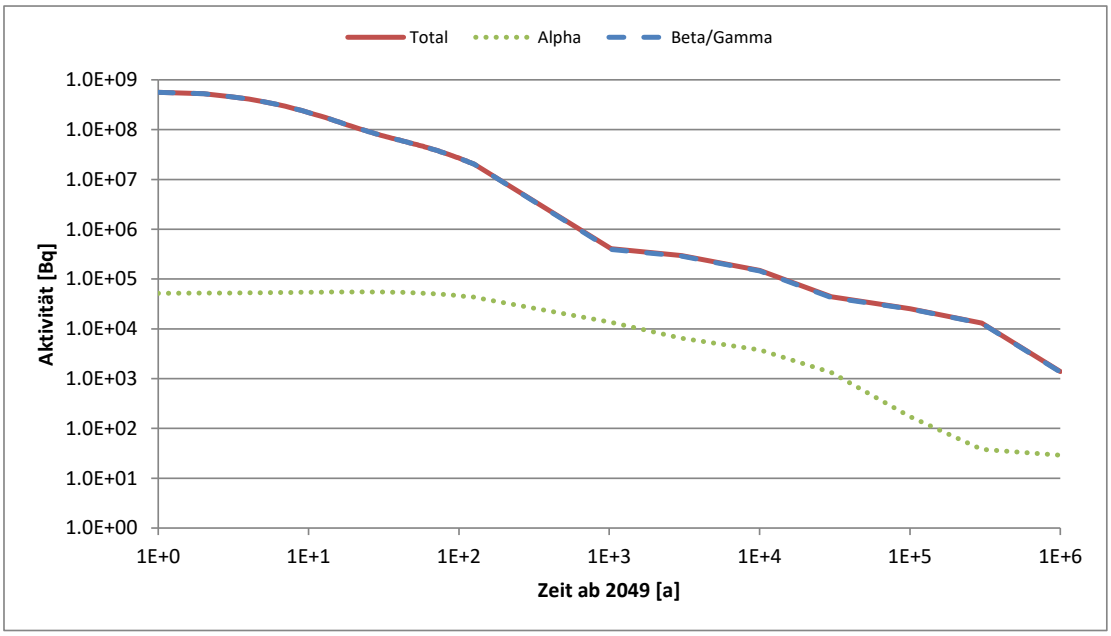
| | *repräsentatives Gebinde* | *Abfallsorte gesamt* |
|---|---|---|
| Anzahl Gebinde | | 51 |
| Volumen [$m^3$] | 9.40E+00 | 4.80E+02 |

**Zeitliche Entwicklung des Gesamtvolumens**



| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| **SA-L-B-L4-SMA - Betonabfälle KKL in LC-86** | |

**Aktivitätsverlauf der Gesamtproduktion**



## C.4 Abfallsortenreports – WA-F-KG-K1-HAA

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|

**WA-F-KG-K1-HAA - Verglaste Konzentrate HAA AREVA (CSD-V) in 180-l-Kokille**

## SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES REPRÄSENTATIVEN GEBINDES

Abfallkategorie
**Wiederaufarbeitungsabfälle**

Herkunft
**WA Frankreich**

Rohabfall
**Konzentrate verglast**

Behältertyp
**Kokille WA-HAA [180 Liter]**

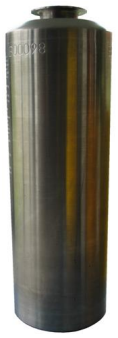
Form
**Zylinder**

Höhe
**1.34 m**

Durchmesser
**0.43 m**

Aussenvolumen
**0.182 m3**

Gesamtmasse
**489.27 kg**



## AUFBAU DER ABFALLSORTE AUS ABFALLGEBINDETYPEN (AGT)

| *Anzahl* | | | *pro Gebinde* | |
|---|---|---|---|---|
| *Gebinde* | *AGT Code* | *Bezeichnung* | *$m^3$* | *kg* |
| 436 | **J-Z-005000** | COGEMA VITRIFIED RESIDUE | 1.82E-01 | 4.89E+02 |
| 436 | **WA-F-KG-K1-HAA** | Verglaste Konzentrate HAA AREVA (CSD-V) in 180-l-Kokille | **1.82E-01** | **4.89E+02** |

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|

**WA-F-KG-K1-HAA - Verglaste Konzentrate HAA AREVA (CSD-V) in 180-l-Kokille**

## MATERIALKENNDATEN FÜR DAS REPRÄSENTATIVE GEBINDE

### Materialinventar

| *Material* | | *Masse [kg]* | * | *Komponentenweise Aufschlüsselung [kg]* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *C* | *D* | *E* | *F* | *G* |
| | | | | *Abfallprodukt* | *Behälter* | *Füllmaterial* | *Einbauten* | *Leerraum* |
| ::WA/HLW-Glasmatrix-::Glas | | **3.33E+02** | A | 3.33E+02 | | | | |
| ::WA/HLW-Glasmatrix-::PuO2 | | **1.75E-02** | A | 1.75E-02 | | | | |
| ::WA/HLW-Glasmatrix-::SPOx | | **6.08E+01** | A | 6.08E+01 | | | | |
| ::WA/HLW-Glasmatrix-::UO2 | | **1.80E+00** | A | 1.80E+00 | | | | |
| CrNi-Stahl | | **9.40E+01** | M | | 9.40E+01 | | | |
| Luft | | **2.40E-02** | A | | | | | 2.40E-02 |
| **Total** | | **4.89E+02** | | **3.95E+02** | **9.40E+01** | **0.00E+00** | **0.00E+00** | **2.40E-02** |
| * total | anorganisch/nichtmetallisch | **3.95E+02** | A | 3.95E+02 | | | | 2.40E-02 |
| | metallisch | **9.40E+01** | M | | 9.40E+01 | | | |

### Oberflächen/Massen-Verhältnisse von Metallen

| *Material* | *$m^2$* | *kg* | *$m^2/kg$* |
|---|---|---|---|
| CrNi-Stahl | 4.76E+00 | 9.40E+01 | 5.06E-02 |

**MIRAM-RBG** **Referenzjahr: 2075**

**WA-F-KG-K1-HAA - Verglaste Konzentrate HAA AREVA (CSD-V) in 180-l-Kokille**

## RADIOLOGISCHE KENNDATEN FÜR DAS REPRÄSENTATIVE GEBINDE

### Nuklidinventar

| *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Mittel* | *Maximal* | | *Mittel* | *Maximal* | | *Mittel* | *Maximal* | | *Mittel* | *Maximal* |
| Be-10 | 5.9E+04 | 6.2E+04 | Ba-133 | 2.8E+07 | 3.0E+07 | Bi-213 | 4.8E+04 | 5.3E+04 | U-233 | 5.7E+06 | 6.7E+06 |
| C-14 | 2.9E+07 | 3.0E+07 | Ba-137M | 8.7E+14 | 9.1E+14 | Bi-214 | 1.4E+05 | 1.5E+05 | U-234 | 7.5E+07 | 8.9E+07 |
| Si-32 | 1.3E+05 | 1.4E+05 | La-137 | 5.1E+05 | 5.3E+05 | Bi-215 | 1.1E+00 | 1.2E+00 | U-235 | 5.7E+05 | 6.0E+05 |
| P-32 | 1.3E+05 | 1.4E+05 | La-138 | 1.7E+01 | 1.7E+01 | Po-210 | 9.0E+04 | 9.4E+04 | U-235M | 2.1E+10 | 2.8E+10 |
| Cl-36 | 1.5E+07 | 1.5E+07 | Pm-145 | 1.0E+07 | 1.1E+07 | Po-211 | 3.8E+03 | 4.0E+03 | U-236 | 9.8E+06 | 1.0E+07 |
| K-40 | 2.5E+04 | 2.6E+04 | Pm-146 | 1.7E+05 | 1.8E+05 | Po-212 | 6.5E+05 | 6.8E+05 | U-237 | 3.6E+06 | 5.3E+06 |
| Ca-41 | 1.4E+08 | 1.4E+08 | Pm-147 | 9.6E+06 | 1.0E+07 | Po-213 | 4.7E+04 | 5.2E+04 | U-238 | 1.2E+07 | 1.2E+07 |
| Fe-55 | 3.4E+03 | 3.6E+03 | Sm-146 | 2.1E+03 | 2.2E+03 | Po-214 | 1.4E+05 | 1.5E+05 | U-240 | 1.8E+01 | 1.9E+01 |
| Co-60 | 3.2E+07 | 6.4E+07 | Sm-147 | 3.0E+05 | 3.1E+05 | Po-215 | 1.4E+06 | 1.4E+06 | Np-236 | 7.7E+04 | 8.1E+04 |
| Ni-59 | 5.3E+08 | 5.6E+08 | Sm-151 | 8.2E+12 | 8.6E+12 | Po-216 | 1.0E+06 | 1.1E+06 | Np-237 | 1.8E+10 | 2.1E+10 |
| Ni-63 | 4.2E+10 | 4.4E+10 | Eu-152 | 1.3E+09 | 1.4E+09 | Po-218 | 1.4E+05 | 1.5E+05 | Np-238 | 9.4E+08 | 9.9E+08 |
| Se-79 | 1.9E+10 | 2.0E+10 | Eu-154 | 4.2E+11 | 4.7E+11 | At-217 | 4.8E+04 | 5.3E+04 | Np-239 | 1.7E+12 | 2.0E+12 |
| Rb-87 | 1.0E+06 | 1.0E+06 | Eu-155 | 1.8E+09 | 1.9E+09 | At-218 | 2.8E+01 | 3.0E+01 | Np-240M | 1.8E+01 | 1.9E+01 |
| Sr-90 | 5.8E+14 | 6.2E+14 | Tb-157 | 1.3E+07 | 1.3E+07 | At-219 | 1.1E+00 | 1.2E+00 | Pu-236 | 1.0E+04 | 1.1E+04 |
| Y-90 | 5.8E+14 | 6.2E+14 | Tb-158 | 5.2E+07 | 5.4E+07 | Rn-217 | 3.4E+00 | 3.7E+00 | Pu-238 | 1.9E+11 | 2.3E+11 |
| Zr-93 | 1.0E+11 | 1.1E+11 | Ho-163 | 1.6E+06 | 1.7E+06 | Rn-219 | 1.4E+06 | 1.4E+06 | Pu-239 | 2.1E+10 | 2.8E+10 |
| Nb-91 | 1.6E+06 | 1.6E+06 | Ho-166M | 6.3E+07 | 6.6E+07 | Rn-220 | 1.0E+06 | 1.1E+06 | Pu-240 | 4.6E+11 | 5.2E+11 |
| Nb-92 | 1.3E+02 | 1.4E+02 | Lu-176 | 6.0E+00 | 6.2E+00 | Rn-222 | 1.4E+05 | 1.5E+05 | Pu-241 | 1.5E+11 | 2.2E+11 |
| Nb-93M | 9.5E+10 | 1.0E+11 | Hf-182 | 6.9E+03 | 7.2E+03 | Fr-221 | 4.8E+04 | 5.3E+04 | Pu-242 | 1.3E+08 | 1.8E+08 |
| Nb-94 | 9.7E+07 | 1.0E+08 | Ta-182 | 6.9E+03 | 7.2E+03 | Fr-223 | 1.9E+04 | 2.0E+04 | Pu-243 | 4.6E+03 | 4.9E+03 |
| Mo-93 | 7.3E+07 | 7.6E+07 | Re-187 | 4.4E+02 | 4.6E+02 | Ra-223 | 1.4E+06 | 1.4E+06 | Pu-244 | 1.8E+01 | 1.9E+01 |
| Tc-97 | 2.6E+03 | 2.8E+03 | Os-194 | 7.5E+01 | 7.8E+01 | Ra-224 | 1.0E+06 | 1.1E+06 | Am-241 | 8.0E+13 | 9.0E+13 |
| Tc-98 | 1.8E+05 | 1.9E+05 | Ir-194 | 7.5E+01 | 7.8E+01 | Ra-225 | 4.8E+04 | 5.3E+04 | Am-242 | 2.0E+11 | 2.1E+11 |
| Tc-99 | 9.7E+11 | 1.1E+12 | Pt-193 | 9.8E+08 | 1.0E+09 | Ra-226 | 1.4E+05 | 1.5E+05 | Am-242M | 2.1E+11 | 2.2E+11 |
| Rh-102 | 3.3E+01 | 3.5E+01 | Tl-204 | 1.5E+04 | 1.5E+04 | Ra-228 | 9.6E+03 | 1.0E+04 | Am-243 | 1.7E+12 | 2.0E+12 |
| Rh-102M | 1.2E+04 | 1.3E+04 | Tl-206 | 8.9E+02 | 9.4E+02 | Ac-225 | 4.8E+04 | 5.3E+04 | Cm-242 | 1.7E+11 | 1.8E+11 |
| Pd-107 | 6.5E+09 | 7.6E+09 | Tl-207 | 1.4E+06 | 1.4E+06 | Ac-227 | 1.4E+06 | 1.4E+06 | Cm-243 | 1.2E+11 | 1.2E+11 |
| Ag-108 | 1.6E+07 | 1.7E+07 | Tl-208 | 3.6E+05 | 3.8E+05 | Ac-228 | 9.6E+03 | 1.0E+04 | Cm-244 | 9.4E+12 | 1.1E+13 |
| Ag-108M | 1.8E+08 | 1.9E+08 | Tl-209 | 1.1E+03 | 1.2E+03 | Th-227 | 1.4E+06 | 1.4E+06 | Cm-245 | 1.9E+10 | 3.3E+10 |
| Cd-113M | 3.5E+08 | 3.6E+08 | Tl-210 | 3.0E+01 | 3.1E+01 | Th-228 | 1.0E+06 | 1.1E+06 | Cm-246 | 1.6E+09 | 1.7E+09 |
| Sn-121 | 2.4E+11 | 2.6E+11 | Pb-205 | 2.2E+02 | 2.4E+02 | Th-229 | 4.8E+04 | 5.3E+04 | Cm-247 | 4.6E+03 | 4.9E+03 |
| Sn-121M | 3.2E+11 | 3.3E+11 | Pb-209 | 4.8E+04 | 5.3E+04 | Th-230 | 4.2E+06 | 4.4E+06 | Cm-248 | 1.1E+04 | 1.1E+04 |
| Sn-126 | 3.6E+10 | 3.9E+10 | Pb-210 | 9.1E+04 | 9.5E+04 | Th-231 | 5.7E+05 | 6.0E+05 | Cf-249 | 9.7E+04 | 1.0E+05 |
| Sb-125 | 3.8E+05 | 4.1E+05 | Pb-211 | 1.4E+06 | 1.4E+06 | Th-232 | 9.6E+03 | 1.0E+04 | Cf-250 | 1.6E+04 | 1.7E+04 |
| Sb-126 | 5.1E+09 | 5.5E+09 | Pb-212 | 1.0E+06 | 1.1E+06 | Th-234 | 1.2E+07 | 1.2E+07 | Cf-251 | 5.7E+03 | 6.0E+03 |
| Sb-126M | 3.6E+10 | 3.9E+10 | Pb-214 | 1.4E+05 | 1.5E+05 | Pa-231 | 1.5E+06 | 1.6E+06 | | | |
| Te-125M | 9.4E+04 | 1.0E+05 | Bi-208 | 3.4E+03 | 3.6E+03 | Pa-232 | 1.5E+02 | 1.6E+02 | | | |
| I-129 | 3.2E+07 | 3.3E+07 | Bi-210 | 9.0E+04 | 9.5E+04 | Pa-233 | 1.8E+10 | 2.1E+10 | | | |
| Cs-134 | 1.8E+04 | 1.9E+04 | Bi-210M | 8.9E+02 | 9.4E+02 | Pa-234 | 1.8E+04 | 1.9E+04 | Summe α | 9.2E+13 | 1.0E+14 |
| Cs-135 | 2.8E+10 | 3.3E+10 | Bi-211 | 1.4E+06 | 1.4E+06 | Pa-234M | 1.2E+07 | 1.2E+07 | Summe βγ | 3.0E+15 | 3.1E+15 |
| Cs-137 | 9.2E+14 | 9.6E+14 | Bi-212 | 1.0E+06 | 1.1E+06 | U-232 | 9.7E+05 | 1.0E+06 | **Total** | **3.1E+15** | **3.2E+15** |

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|

**WA-F-KG-K1-HAA - Verglaste Konzentrate HAA AREVA (CSD-V) in 180-l-Kokille**

**Spaltstoffinventar**

| *Nuklid* | *Aktivität [Bq]* | | *Masse [g]* | |
|---|---|---|---|---|
| | *Mittel* | *Maximal* | *Mittel* | *Maximal* |
| U -233 -092 | 5.7E+06 | 6.7E+06 | 1.6E-02 | 1.9E-02 |
| U -235 -092 | 5.7E+05 | 6.0E+05 | 7.1E+00 | 7.5E+00 |
| Pu-238 -094 | 1.9E+11 | 2.3E+11 | 3.0E-01 | 3.7E-01 |
| Pu-239 -094 | 2.1E+10 | 2.8E+10 | 8.9E+00 | 1.2E+01 |
| Pu-241 -094 | 1.5E+11 | 2.2E+11 | 3.9E-02 | 5.6E-02 |
| Am-242M-095 | 2.1E+11 | 2.2E+11 | 5.3E-01 | 5.6E-01 |
| Cm-243 -096 | 1.2E+11 | 1.2E+11 | 6.4E-02 | 6.7E-02 |
| Cm-245 -096 | 1.9E+10 | 3.3E+10 | 3.0E+00 | 5.2E+00 |
| **Total** | **7.0E+11** | **8.5E+11** | **2.0E+01** | **2.6E+01** |

**Dosisleistungen an Gebindeoberfläche (0m)**

| *Strahlungsart* | *Dosisleistung [mSv/h]* | |
|---|---|---|
| | *Mittel* | *Maximal* |
| Gamma | 1.4E+05 | 1.4E+05 |
| Neutronen | 1.9E+01 | 2.1E+01 |

**Mittlere Gesamtaktivität und Wärmeleistung (ab Referenzjahr)**

| *Jahre* | *Aktivität [Bq]* | | | *Wärmeleistung [W]* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *∑α* | *∑βγ* | *Total* | *∑α* | *∑βγ* | *Total* |
| **3** | 9.1E+13 | 2.8E+15 | 2.9E+15 | 8.2E+01 | 2.1E+02 | 2.9E+02 |
| **10** | 8.8E+13 | 2.4E+15 | 2.4E+15 | 8.0E+01 | 1.8E+02 | 2.6E+02 |
| **30** | 8.2E+13 | 1.5E+15 | 1.6E+15 | 7.4E+01 | 1.1E+02 | 1.9E+02 |
| **100** | 7.1E+13 | 2.9E+14 | 3.6E+14 | 6.4E+01 | 2.2E+01 | 8.6E+01 |
| **1000** | 1.8E+13 | 2.9E+12 | 2.1E+13 | 1.6E+01 | 1.3E-01 | 1.6E+01 |
| **3000** | 2.5E+12 | 2.7E+12 | 5.2E+12 | 2.1E+00 | 1.1E-01 | 2.3E+00 |
| **10000** | 1.2E+12 | 2.2E+12 | 3.4E+12 | 9.9E-01 | 7.0E-02 | 1.1E+00 |
| **30000** | 4.5E+11 | 1.6E+12 | 2.1E+12 | 3.8E-01 | 3.3E-02 | 4.1E-01 |
| **100000** | 1.4E+11 | 1.1E+12 | 1.2E+12 | 1.3E-01 | 2.3E-02 | 1.5E-01 |
| **300000** | 1.7E+11 | 7.1E+11 | 8.8E+11 | 1.7E-01 | 1.7E-02 | 1.9E-01 |
| **1000000** | 1.8E+11 | 3.0E+11 | 4.8E+11 | 1.8E-01 | 8.1E-03 | 1.9E-01 |

| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| **WA-F-KG-K1-HAA - Verglaste Konzentrate HAA AREVA (CSD-V) in 180-l-Kokille** | |

**Mittlere radiolytische Gasproduktion (ab Referenzjahr)**

| *Jahr* | *Produktion [l/a]* | *Kumuliert [$m^3$]* |
|---|---|---|
| 0 | 0.0E+00 | 0.0E+00 |
| 5 | 0.0E+00 | 0.0E+00 |
| 10 | 0.0E+00 | 0.0E+00 |
| 20 | 0.0E+00 | 0.0E+00 |
| 40 | 0.0E+00 | 0.0E+00 |
| 80 | 0.0E+00 | 0.0E+00 |
| 100 | 0.0E+00 | 0.0E+00 |

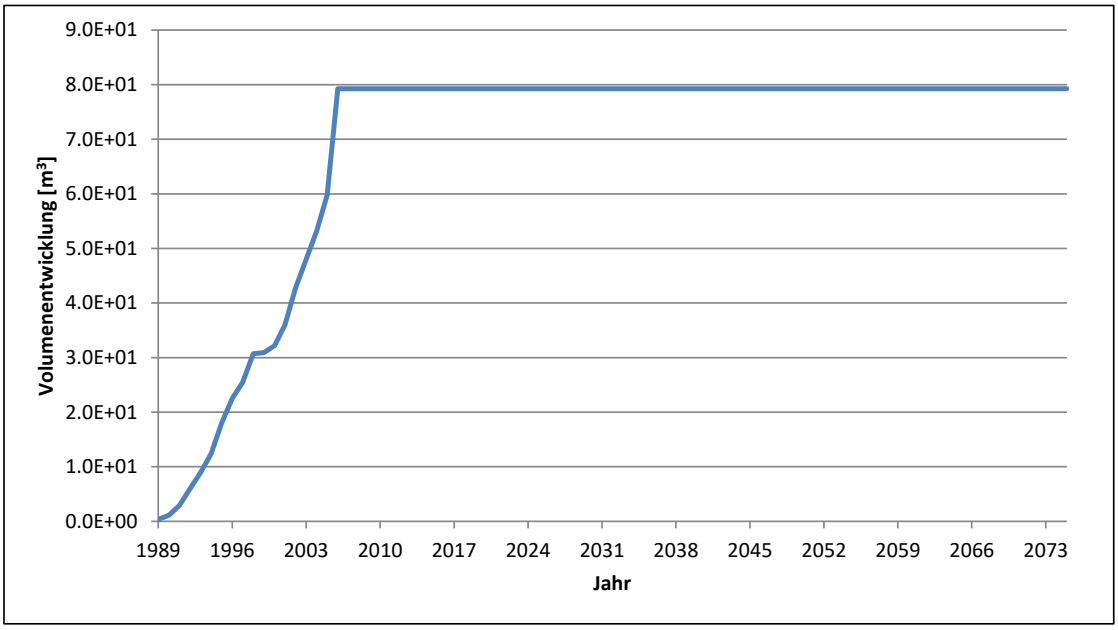
| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| **WA-F-KG-K1-HAA - Verglaste Konzentrate HAA AREVA (CSD-V) in 180-l-Kokille** | |

**KENNDATEN FÜR DIE ABFALLSORTE**

**Volumenfestlegung**

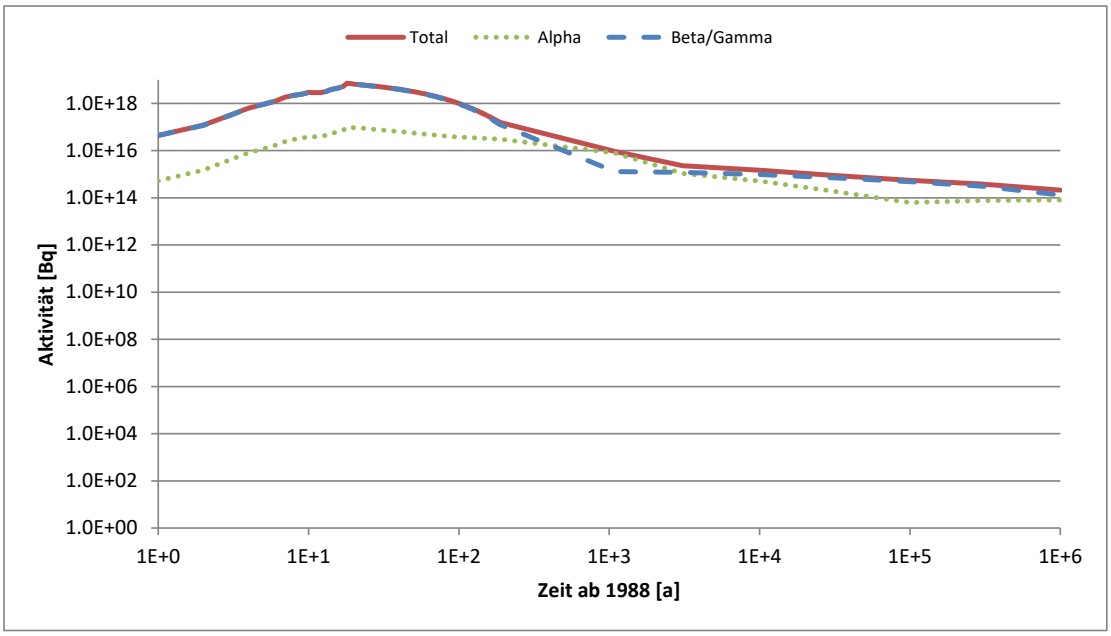
| | *repräsentatives Gebinde* | *Abfallsorte gesamt* |
|---|---|---|
| Anzahl Gebinde | | 436 |
| Volumen [$m^3$] | 1.82E-01 | 7.93E+01 |

**Zeitliche Entwicklung des Gesamtvolumens**



| MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075 |
|---|---|
| **WA-F-KG-K1-HAA - Verglaste Konzentrate HAA AREVA (CSD-V) in 180-l-Kokille** | |

**Aktivitätsverlauf der Gesamtproduktion**



# Anhang D MIRAM-RBG Materialinventar

In Anhang D wird das Mengengerüst für das Abfallinventar in MIRAM-RBG zum Zeitpunkt des Referenzjahres 2075 in Abhängigkeit des Standardmaterials angegeben. Für jedes Standardmaterial wird die entsprechende Gesamtmasse in den KEV-Kategorien SMA, ATA, HAA und dem Total angegeben. Es wird ein Klassifikationscode («O», «A» oder «M») verwendet, der das Material als «organisch», «anorganisch» oder als «metallisch» ausweist.

Im Hinblick auf mögliche weiterführende Fragestellungen werden die Namensbezeichnungen solcher Standardmaterialien, die im Zuge der Abfallkonditionierung als Produkte (also Abfallmatrizen oder Füllmaterialien) in situ aus Edukten hergestellt werden, formal im Format

::Produkt-[::Edukt]

aufgeschlüsselt. Solche Prozesse umfassen unter anderem: in-situ-Polymerisation von Monomeren (Harzverguss KKB), Verbrennung / Aufschmelzen von Mischabfällen mit Schlackenbildung (Plasmaanlage ZWILAG), Verglasung von hoch- und mittelaktiven Wiederaufarbeitungsabfällen (Areva/Cogema, BNF), in-situ-Bildung von Zementsteinen aus Zement, ggf. Zuschlagstoffen und Wasser (diverse Anlagen). Die Deklaration der Edukte ist optional (dargestellt durch die eckigen Klammern). Werden Edukte identifiziert, entspricht die wahre Produktmasse der Summe der Massen aller untergeordneter Produkt/Edukt-Paare.

## Mengengerüst angelieferter Abfallgebinde

**Szenarium: MIRAM-RBG**

## Material nach Kategorie

Abfallkategorien Art 51 KEV (2004)

| | | | Total | SMA | ATA | SMA+ATA | HAA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | kg | kg | kg | kg | kg |
| | | | 118,055,484.4 | 112,250,547.8 | 858,486.4 | 113,109,034.2 | 4,946,450.2 |
| | **Standardmaterialien** | | | | | | |
| 1 | ::Polystyrol-::AIBN | O | 783.4 | 783.4 | | 783.4 | |
| 2 | ::Polystyrol-::Divinylbenzol | O | 1,972.7 | 1,972.7 | | 1,972.7 | |
| 3 | ::Polystyrol-::Styrol | O | 104,219.3 | 104,219.3 | | 104,219.3 | |
| 4 | ::Schlacke/Glas PA ZWILAG | A | 3,904,611.2 | 3,904,611.2 | | 3,904,611.2 | |
| 5 | ::WA/HLW-Glasmatrix-::Glas | A | 200,565.6 | | 0.0 | 0.0 | 200,565.6 |
| 6 | ::WA/HLW-Glasmatrix-::PuO2 | A | 10.2 | | 0.0 | 0.0 | 10.2 |
| 7 | ::WA/HLW-Glasmatrix-::SPOx | A | 44,580.2 | | 0.0 | 0.0 | 44,580.2 |
| 8 | ::WA/HLW-Glasmatrix-::UO2 | A | 948.8 | | 0.0 | 0.0 | 948.8 |
| 9 | ::WA/ILW-Glasmatrix-::Glas | A | 6,330.4 | | 6,330.4 | 6,330.4 | |
| 10 | ::WA/ILW-Glasmatrix-::PuO2 | A | 1.2 | | 1.2 | 1.2 | |
| 11 | ::WA/ILW-Glasmatrix-::SPOx | A | 838.8 | | 838.8 | 838.8 | |
| 12 | ::WA/ILW-Glasmatrix-::UO2 | A | 29.7 | | 29.7 | 29.7 | |
| 13 | ::Zementstein -::BOS | A | 1,218,188.5 | 1,218,188.5 | | 1,218,188.5 | |
| 14 | ::Zementstein -::Dilacon | A | 109.3 | 109.3 | | 109.3 | |
| 15 | ::Zementstein -::Filler | A | 1,096,369.7 | 1,096,369.7 | | 1,096,369.7 | |
| 16 | ::Zementstein -::Micropoz | A | 827,240.6 | 816,198.2 | 11,042.3 | 827,240.6 | |
| 17 | ::Zementstein -::Sulfazem | A | 756.1 | 756.1 | | 756.1 | |
| 18 | ::Zementstein -::Trass | A | 364,369.8 | 364,369.8 | | 364,369.8 | |
| 19 | ::Zementstein -::Wasser | A | 9,596,832.3 | 9,561,528.8 | 35,303.5 | 9,596,832.3 | |
| 20 | ::Zementstein -::Zement HTS | A | 6,032,794.5 | 5,987,727.6 | 45,066.9 | 6,032,794.5 | |
| 21 | ::Zementstein -::Zement OPC | A | 9,111,504.3 | 9,089,719.2 | 21,785.1 | 9,111,504.3 | |
| 22 | Aktivkohle | A | 19,603.6 | 19,225.0 | 378.6 | 19,603.6 | |
| 23 | aliph. KWSt C5-C10 (Öle) | O | 94.9 | 80.7 | 14.2 | 94.9 | |
| 24 | Aluminium Al | M | 1,786,143.8 | 1,778,120.4 | 7,959.0 | 1,786,079.4 | 64.4 |
| 25 | Aluminium Al (Mg0.5%Si0.5%) | M | 2,937.6 | 2,937.6 | | 2,937.6 | |
| 26 | Aluminium Al (Mg3%Si1%) | M | 7,239.4 | 4,503.2 | | 4,503.2 | 2,736.2 |
| 27 | Aluminiumhydroxid Al(OH)3 | A | 1,341.5 | 1,341.5 | | 1,341.5 | |
| 28 | Aluminiumoxid Al2O3 | A | 756.3 | 755.5 | 0.7 | 756.3 | |
| 29 | Americium(III)oxid Am2O3 | A | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| 30 | Ammoniumchlorid NH4Cl | A | 506.7 | 506.7 | | 506.7 | |
| 31 | Ammoniumnitrat NH4NO3 | A | 37.6 | | 37.6 | 37.6 | |
| 32 | Antimon Sb | M | 9.3 | 9.3 | | 9.3 | |
| 33 | Asbest | A | 34,945.8 | 34,823.6 | 122.2 | 34,945.8 | |
| 34 | Asche Mol | A | 1,485.4 | 1,485.4 | | 1,485.4 | |
| 35 | Asche PVA | A | 64,323.8 | 64,323.8 | | 64,323.8 | |
| 36 | Bariumsulfat BaSO4 | A | 705.4 | 698.0 | 7.4 | 705.4 | |
| 37 | Barytbeton | A | 226,339.2 | 226,039.9 | 299.2 | 226,339.2 | |
| 38 | Baumwolle | O | 15,164.7 | 15,164.7 | | 15,164.7 | |
| 39 | Baustahl | M | 3,503.4 | 3,503.4 | | 3,503.4 | |
| 40 | Benzylalkohol | O | 637.1 | 637.1 | | 637.1 | |
| 41 | Berlinerblau Fe4(Fe(CN)6]3 | A | 1,330.6 | 1,330.6 | | 1,330.6 | |
| 42 | Beryllium Be | M | 86.3 | 86.3 | | 86.3 | |
| 43 | Berylliumoxid BeO | A | 65.2 | 65.2 | | 65.2 | |
| 44 | Beton | A | 8,801,496.3 | 8,779,346.4 | 22,150.0 | 8,801,496.3 | |
| 45 | Bitumen | O | 350,986.8 | 350,963.6 | 23.2 | 350,986.8 | |
| 46 | Blei Pb | M | 1,770,956.8 | 1,760,338.7 | 10,478.1 | 1,770,816.8 | 140.0 |
| 47 | Borax Na2B4O7 - 10 H2O | A | 6,165.0 | 6,165.0 | | 6,165.0 | |
| 48 | Borcarbid B4C | A | 5,420.4 | 5,420.4 | | 5,420.4 | |
| 49 | Boroxid B2O3 | A | 89,933.3 | 89,933.3 | | 89,933.3 | |
| 50 | Borsäure H3BO3 | A | 32.0 | 32.0 | | 32.0 | |
| 51 | Butyldiglykol | O | 644.3 | 644.3 | | 644.3 | |
| 52 | Cadmium Cd | M | 47.7 | 41.8 | 6.0 | 47.7 | |
| 53 | Calcium Ca | M | 0.3 | 0.3 | | 0.3 | |
| 54 | Calciumchlorid CaCl2 | A | 1,194.5 | 1,194.5 | | 1,194.5 | |
| 55 | Calciummetaborat Ca(BO2)2 | A | 7,497.6 | 7,497.6 | | 7,497.6 | |
| 56 | Calciumnitrat Ca(NO3)2 | A | 606.3 | 234.8 | 371.5 | 606.3 | |
| 57 | Calciumoxalat CaC2O4 | A | 109.4 | 109.4 | | 109.4 | |
| 58 | Calciumphosphat Ca3(PO4)2 | A | 6,535.6 | 6,339.6 | 196.0 | 6,535.6 | |
| 59 | Calciumsilikat | A | 3,118.7 | 3,118.7 | | 3,118.7 | |

## Mengengerüst angelieferter Abfallgebinde

**Szenarium: MIRAM-RBG**

**Material nach Kategorie**

Abfallkategorien Art 51 KEV (2004)

| | | | Total | SMA | ATA | SMA+ATA | HAA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | kg | kg | kg | kg | kg |
| | | | 118,055,484.4 | 112,250,547.8 | 858,486.4 | 113,109,034.2 | 4,946,450.2 |
| | **Standardmaterialien** | | | | | | |
| 60 | Chrom Cr | M | 0.9 | 0.9 | | 0.9 | |
| 61 | Chrom(III)nitrat Cr(NO3)3 | A | 15.1 | | 15.1 | 15.1 | |
| 62 | Chrom(III)oxid Cr2O3 | A | 1.9 | | 1.9 | 1.9 | |
| 63 | Clinoptilolith | A | 520,096.3 | 513,841.6 | 6,254.7 | 520,096.3 | |
| 64 | Cobalt Co | M | 0.2 | 0.2 | | 0.2 | |
| 65 | CrNi-Stahl | M | 2,318,121.2 | 2,198,041.0 | 60,825.1 | 2,258,866.1 | 59,255.1 |
| 66 | Detergentien | O | 28.9 | 28.9 | | 28.9 | |
| 67 | Diethanolamin | O | 27,081.8 | 26,858.3 | 223.4 | 27,081.8 | |
| 68 | Diethylenglycol | O | 309.7 | 309.7 | | 309.7 | |
| 69 | Distearyldimethylammonium-Cl | O | 403.2 | 403.2 | | 403.2 | |
| 70 | Eisen Fe | M | 820,321.2 | 814,388.8 | 5,932.4 | 820,321.2 | |
| 71 | Eisen(II)chlorid FeCl2 | A | 390.9 | 390.9 | | 390.9 | |
| 72 | Eisen(II)nitrat Fe(NO3)2 | A | 8.4 | | 8.4 | 8.4 | |
| 73 | Eisen(II)sulfat FeSO4 | A | 8,291.0 | 8,287.1 | 3.8 | 8,291.0 | |
| 74 | Eisen(III)oxid Fe2O3 | A | 2,722.4 | 2,720.2 | 2.1 | 2,722.4 | |
| 75 | Eisenhydroxid Fe(OH)3 | A | 1,693.7 | 1,693.7 | | 1,693.7 | |
| 76 | Eisenoxide/hydroxide FeOOH | A | 13,730.1 | 13,730.1 | | 13,730.1 | |
| 77 | Epoxyphenollack | O | 8,353.7 | 8,195.1 | 158.6 | 8,353.7 | |
| 78 | Ethylenglycol | O | 2,322.6 | 2,322.6 | | 2,322.6 | |
| 79 | Formaldehyd | O | 8,325.1 | 8,256.4 | 68.7 | 8,325.1 | |
| 80 | Geopolymere | A | 1,824.6 | 1,824.6 | | 1,824.6 | |
| 81 | Gips CaSO4 .2 H2O | A | 12,474.0 | 12,465.9 | 8.1 | 12,474.0 | |
| 82 | Glas | A | 74,317.8 | 70,191.1 | 4,058.6 | 74,249.8 | 68.0 |
| 83 | Glaswolle/Glasfaser | A | 51,729.0 | 51,100.2 | 545.8 | 51,646.0 | 83.0 |
| 84 | Gluconsäure | O | 12,553.7 | 12,434.4 | 119.3 | 12,553.7 | |
| 85 | Gold Au | M | 104.6 | 3.1 | 101.5 | 104.6 | |
| 86 | Graphit C | A | 49,572.7 | 49,455.5 | 100.4 | 49,555.9 | 16.8 |
| 87 | Gummi | O | 23,245.9 | 22,022.7 | 1,219.0 | 23,241.7 | 4.2 |
| 88 | Gusseisen | M | 5,847,411.0 | 5,847,411.0 | | 5,847,411.0 | |
| 89 | Hafnium Hf | M | 3,394.3 | 3,394.3 | | 3,394.3 | |
| 90 | Harnstoff | O | 18,072.4 | 17,905.5 | 166.9 | 18,072.4 | |
| 91 | Hexamethylentetramin | O | 55.9 | | 55.9 | 55.9 | |
| 92 | Inconel | M | 15,986.0 | | | 0.0 | 15,986.0 |
| 93 | Inconel 600 | M | 14,104.0 | 3,081.7 | 11,022.4 | 14,104.0 | |
| 94 | Inconel 718 | M | 49.7 | 49.7 | | 49.7 | |
| 95 | Inconel 750 | M | 3,209.4 | 3,209.4 | | 3,209.4 | |
| 96 | Isopropanol C3H8O | O | 86.0 | 86.0 | | 86.0 | |
| 97 | Kaliumbicarbonat KHCO3 | A | 4,987.2 | 4,987.2 | | 4,987.2 | |
| 98 | Kaliumchlorid KCl | A | 727.8 | 727.8 | | 727.8 | |
| 99 | Kaliumnitrat KNO3 | A | 2,368.8 | 2,361.5 | 7.3 | 2,368.8 | |
| 100 | Kaliumnitrit KNO2 | A | 562.8 | 562.8 | | 562.8 | |
| 101 | Kaliumoxid K2O | A | 0.4 | | 0.4 | 0.4 | |
| 102 | Kaliumsulfat K2SO4 | A | 70.2 | 70.2 | | 70.2 | |
| 103 | Kalk CaCO3 | A | 1,539,332.3 | 1,537,605.4 | 1,726.9 | 1,539,332.3 | |
| 104 | Keramik | A | 114,825.1 | 111,639.6 | 3,146.3 | 114,785.9 | 39.2 |
| 105 | Kies | A | 12,729,052.8 | 12,688,361.3 | 40,691.5 | 12,729,052.8 | |
| 106 | Kieselgur (amorphes SiO2) | A | 22,272.7 | 21,243.2 | 1,029.5 | 22,272.7 | |
| 107 | Kieselsäure H4SiO4 | A | 7,066.6 | 7,066.6 | | 7,066.6 | |
| 108 | Korund Al203 | A | 104,518.0 | 104,518.0 | | 104,518.0 | |
| 109 | Kunststoffe | O | 90,796.5 | 86,107.8 | 4,674.8 | 90,782.5 | 14.0 |
| 110 | Kupfer Cu | M | 349,949.7 | 348,306.8 | 1,622.0 | 349,928.7 | 21.0 |
| 111 | LaurylaminPEglycolether | O | 5,539.0 | 5,506.0 | 33.0 | 5,539.0 | |
| 112 | Ligninsulfonate | O | 177.1 | 176.5 | 0.6 | 177.1 | |
| 113 | Luft | A | 1,951.1 | 813.1 | 25.7 | 838.8 | 1,112.3 |
| 114 | Magnesium Mg | M | 845.7 | 845.7 | | 845.7 | |
| 115 | Magnesiumoxid MgO | A | 3.2 | 0.1 | 3.2 | 3.2 | |
| 116 | Magnetit Fe3O4 | A | 116,539.8 | 116,539.8 | | 116,539.8 | |
| 117 | Mangan(IV)oxid MnO2 | A | 42.9 | 42.9 | | 42.9 | |
| 118 | Melamin/Formaldehyd-Sulfonat | O | 296.2 | 296.2 | | 296.2 | |

## Mengengerüst angelieferter Abfallgebinde

**Szenarium: MIRAM-RBG**

### Material nach Kategorie

Abfallkategorien Art 51 KEV (2004)

| | | | Total | SMA | ATA | SMA+ATA | HAA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | kg | kg | kg | kg | kg |
| | | | 118,055,484.4 | 112,250,547.8 | 858,486.4 | 113,109,034.2 | 4,946,450.2 |
| | **Standardmaterialien** | | | | | | |
| 119 | Melaminharz | O | 1,439.7 | 1,435.3 | 4.3 | 1,439.7 | |
| 120 | Messing CuZn37% | M | 7,142.5 | 7,006.0 | 115.6 | 7,121.5 | 21.0 |
| 121 | Methanol CH3OH | O | 2,889.2 | 2,889.2 | | 2,889.2 | |
| 122 | Na-dimethyldithiocarbamat | O | 297.5 | 297.5 | | 297.5 | |
| 123 | Na-polyphosphat (NaPO3)n | A | 1,289.5 | 1,283.1 | 6.4 | 1,289.5 | |
| 124 | Na2[H2EDTA] | O | 5,913.3 | 5,913.3 | | 5,913.3 | |
| 125 | Na3(NTA) | O | 2,697.2 | 2,697.2 | | 2,697.2 | |
| 126 | Naphtalinsulfonate | O | 14,439.7 | 14,266.8 | 172.9 | 14,439.7 | |
| 127 | Natriumborat Na3BO3 | A | 1,009.6 | 1,009.6 | | 1,009.6 | |
| 128 | Natriumcarbonat Na2CO3 | A | 70,927.6 | 70,927.6 | | 70,927.6 | |
| 129 | Natriumchlorid NaCl | A | 13,420.5 | 13,420.5 | | 13,420.5 | |
| 130 | Natriumfluorid NaF | A | 1,252.0 | 1,252.0 | | 1,252.0 | |
| 131 | Natriumhydroxid NaOH | A | 9,297.9 | 9,297.9 | | 9,297.9 | |
| 132 | Natriumnitrat NaNO3 | A | 2,971.0 | 2,970.8 | 0.2 | 2,971.0 | |
| 133 | Natriumphosphat I Na2HPO4 | A | 71,715.4 | 71,715.4 | | 71,715.4 | |
| 134 | Natriumphosphat II NaH2PO4 | A | 69.4 | 69.4 | | 69.4 | |
| 135 | Natriumsulfamat Na(SO3NH2) | A | 1,246.8 | 1,246.8 | | 1,246.8 | |
| 136 | Natriumsulfat Na2SO4 | A | 57,057.2 | 57,057.2 | | 57,057.2 | |
| 137 | Natriumzitrat Na3(C6H5O7) | O | 2.2 | 2.2 | | 2.2 | |
| 138 | Neptunium(V)hydroxid NpO2OH | A | 0.3 | | 0.3 | 0.3 | |
| 139 | Nickel Ni | M | 39,516.3 | 39,516.3 | | 39,516.3 | |
| 140 | Nickel Ni (Mo28%) | M | 482.4 | 402.0 | 80.4 | 482.4 | |
| 141 | Nickeloxid NiO | A | 396.3 | 396.3 | | 396.3 | |
| 142 | Niob Nb | M | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | |
| 143 | Nylon | O | 366.0 | 366.0 | | 366.0 | |
| 144 | Palmitinsäure | O | 1,083.9 | 1,083.9 | | 1,083.9 | |
| 145 | PbBi-Eutektikum (PbBi55.5%) | M | 7,351.1 | 4,583.6 | 2,767.5 | 7,351.1 | |
| 146 | Plexiglas (PMMA) | O | 33,706.5 | 32,951.2 | 749.7 | 33,700.9 | 5.6 |
| 147 | Plutonium(IV)oxid PuO2 | A | 41,294.5 | 0.0 | 16.3 | 16.3 | 41,278.2 |
| 148 | Polyacrylamid | O | 8,091.4 | 8,079.4 | 12.0 | 8,091.4 | |
| 149 | Polycarboxylate | O | 23,518.0 | 23,482.7 | 35.3 | 23,518.0 | |
| 150 | Polyester | O | 27,582.9 | 27,582.9 | | 27,582.9 | |
| 151 | Polyethylen (C2H4)n | O | 29,978.1 | 29,347.5 | 627.1 | 29,974.6 | 3.5 |
| 152 | Polypropylen (C3H6)n | O | 13,810.0 | 13,407.2 | 399.3 | 13,806.5 | 3.5 |
| 153 | Polystyrol-quatAmin / Anion | O | 272,935.3 | 272,935.3 | | 272,935.3 | |
| 154 | Polystyrol-Sulfonat / Kation | O | 487,426.1 | 487,426.1 | | 487,426.1 | |
| 155 | PS-quatAmin/Anion thermol. | O | 131,245.2 | 131,245.2 | | 131,245.2 | |
| 156 | PS-Sulfonat/Kation thermol. | O | 131,245.2 | 131,245.2 | | 131,245.2 | |
| 157 | Pu(IV)hydroxid Pu(OH)4 | A | 2.2 | | 2.2 | 2.2 | |
| 158 | PVC | O | 590,486.2 | 587,416.1 | 3,068.7 | 590,484.8 | 1.4 |
| 159 | Quarzsand | A | 4,170,661.5 | 4,101,754.6 | 67,749.1 | 4,169,503.7 | 1,157.7 |
| 160 | Sand | A | 9,923,928.6 | 9,882,412.0 | 41,499.8 | 9,923,911.8 | 16.8 |
| 161 | Schamotte | A | 21,947.1 | 21,947.1 | | 21,947.1 | |
| 162 | Silber Ag | M | 6,910.1 | 5,239.3 | 1,670.8 | 6,910.1 | |
| 163 | Silberchlorid AgCl | A | 585.9 | 585.9 | | 585.9 | |
| 164 | Silberiodid AgI | A | 24.4 | 24.4 | | 24.4 | |
| 165 | Silbernitrat AgNO3 | A | 7.6 | | 7.6 | 7.6 | |
| 166 | Silicagel | A | 303.8 | 303.8 | | 303.8 | |
| 167 | Siliciumdioxid SiO2 | A | 84,510.5 | 83,967.2 | 543.3 | 84,510.5 | |
| 168 | Silikone | A | 6,271.9 | 6,262.2 | 9.7 | 6,271.9 | |
| 169 | Spalt/Akt.produktoxide BS | A | 172,251.2 | | | 0.0 | 172,251.2 |
| 170 | Stahl | M | 16,191,500.6 | 15,875,443.4 | 105,958.7 | 15,981,402.1 | 210,098.5 |
| 171 | Stahl 1.4301 | M | 75,814.7 | 75,814.7 | | 75,814.7 | |
| 172 | Stahl 1.4541 | M | 9,180.8 | 9,180.8 | | 9,180.8 | |
| 173 | Stahl 1.4550 | M | 123,025.0 | 123,025.0 | | 123,025.0 | |
| 174 | Stahl 1.4571 | M | 119,867.3 | 119,867.3 | | 119,867.3 | |
| 175 | Stahl 1.6751 | M | 334,896.3 | 334,896.3 | | 334,896.3 | |
| 176 | Stahl 1.6958 | M | 22,601.1 | 22,601.1 | | 22,601.1 | |
| 177 | Stahl 12.03 | M | 1,854,523.2 | 1,846,569.6 | 7,953.6 | 1,854,523.2 | |

## Mengengerüst angelieferter Abfallgebinde

**Szenarium: MIRAM-RBG**

**Material nach Kategorie**

Abfallkategorien Art 51 KEV (2004)

| | | | Total | SMA | ATA | SMA+ATA | HAA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | kg | kg | kg | kg | kg |
| | | | 118,055,484.4 | 112,250,547.8 | 858,486.4 | 113,109,034.2 | 4,946,450.2 |
| | **Standardmaterialien** | | | | | | |
| 178 | Stahl 18.8 | M | 16,938.0 | 16,938.0 | | 16,938.0 | |
| 179 | Stahl 37 | M | 838,745.2 | 829,074.3 | 9,670.9 | 838,745.2 | |
| 180 | Stahl ASME A508 | M | 1,226,010.7 | 1,226,010.7 | | 1,226,010.7 | |
| 181 | Stahl III SIA 162 | M | 3,927,933.8 | 3,921,521.3 | 6,412.4 | 3,927,933.8 | |
| 182 | Stahl rostfrei | M | 381,303.5 | 299,591.7 | 79,132.5 | 378,724.3 | 2,579.2 |
| 183 | Stahl US 304 | M | 654,556.0 | 654,556.0 | | 654,556.0 | |
| 184 | Steinwolle | A | 53,897.8 | 53,236.6 | 578.2 | 53,814.8 | 83.0 |
| 185 | Stellit | M | 173.8 | 173.8 | | 173.8 | |
| 186 | Sulfaminsäure NH2SO3H | A | 5.3 | 0.7 | 4.6 | 5.3 | |
| 187 | Tantal Ta | M | 607.6 | 607.6 | | 607.6 | |
| 188 | Tenside | O | 3,104.8 | 3,104.8 | | 3,104.8 | |
| 189 | Thorium Th | M | 61.7 | 56.8 | 4.9 | 61.7 | |
| 190 | Thoriumoxid ThO2 | A | 281.3 | 280.7 | 0.7 | 281.3 | |
| 191 | Titan Ti | M | 325.8 | 325.8 | | 325.8 | |
| 192 | Titanhydrid TiH2 | A | 5.4 | 5.4 | | 5.4 | |
| 193 | Titanoxid TiO2 | A | 0.6 | | 0.6 | 0.6 | |
| 194 | Ton | A | 33,400.2 | 33,400.2 | | 33,400.2 | |
| 195 | Tributylphosphat C12H27O4P | O | 1,229.9 | 1,227.5 | 2.5 | 1,229.9 | |
| 196 | Uran U | M | 6,780.4 | 5,094.6 | 1,685.8 | 6,780.4 | |
| 197 | Uran(IV)oxid UO2 | A | 3,114,844.2 | 390.7 | 882.0 | 1,272.7 | 3,113,571.5 |
| 198 | Uran(VI)hydroxid UO2(OH)2 | A | 35.1 | | 35.1 | 35.1 | |
| 199 | Vermiculit | A | 25,755.3 | 25,502.0 | 211.8 | 25,713.8 | 41.5 |
| 200 | Wasser | A | 336,335.7 | 336,335.7 | | 336,335.7 | |
| 201 | Weinsäure | O | 6,265.2 | 6,253.5 | 11.7 | 6,265.2 | |
| 202 | Weisskalkhydrat Ca(OH)2 | A | 20,673.2 | 20,673.2 | | 20,673.2 | |
| 203 | Wolfram W | M | 1,959.7 | 1,959.7 | | 1,959.7 | |
| 204 | Wolfram W (Ni6%Cu4%) | M | 987.6 | 651.7 | 335.9 | 987.6 | |
| 205 | Zellulose | O | 52,504.0 | 46,489.3 | 6,013.3 | 52,502.6 | 1.4 |
| 206 | Zementstein | A | 47,654.7 | 45,091.4 | 2,563.3 | 47,654.7 | |
| 207 | Zeolith | A | 1,733.0 | 716.0 | 1,017.0 | 1,733.0 | |
| 208 | Zink Zn | M | 18,447.3 | 17,977.7 | 469.7 | 18,447.3 | |
| 209 | Zinkhydroxid Zn(OH)2 | A | 3,117.7 | 3,117.7 | | 3,117.7 | |
| 210 | Zinksulfid ZnS | A | 81.6 | 81.6 | | 81.6 | |
| 211 | Zinn Sn | M | 687.1 | 660.5 | 26.6 | 687.1 | |
| 212 | Zircaloy-2 | M | 893,038.0 | 30,028.6 | 209,681.2 | 239,709.9 | 653,328.2 |
| 213 | Zircaloy-4 | M | 483,144.2 | 56,781.2 | | 56,781.2 | 426,363.0 |
| 214 | Zirconium Zr | M | 1.5 | 1.5 | | 1.5 | |
| 215 | Zirconiumoxid ZrO2 | A | 1,054.1 | 1,054.1 | | 1,054.1 | |

| | | | Total | SMA | ATA | SMA+ATA | HAA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | kg | kg | kg | kg | kg |
| | | | 118,055,484.4 | 112,250,547.8 | 858,486.4 | 113,109,034.2 | 4,946,450.2 |
| | **Materialgruppen** | | | | | | |
| | **Bezeichnung** | **Code** | | | | | |
| 1 | Anorganika exklusive Metalle | A | 75,352,138.9 | 71,459,595.8 | 316,719.0 | 71,776,314.9 | 3,575,824.1 |
| 2 | Metalle | M | 40,188,936.9 | 38,294,431.5 | 523,912.9 | 38,818,344.4 | 1,370,592.5 |
| 3 | Organika | O | 2,514,408.6 | 2,496,520.5 | 17,854.5 | 2,514,375.0 | 33.6 |

# Anhang E MIRAM-RBG Nuklidinventar

In Anhang E wird die Gesamtaktivität für das Abfallinventar in MIRAM-RBG in Abhängigkeit des Radionuklids zum Zeitpunkt des Referenzjahres 2075 dargestellt. Für jedes Radionuklid wird die entsprechende Gesamtaktivität in den KEV-Kategorien SMA, ATA, HAA und dem Total angegeben.

## Mengengerüst angelieferter Abfallgebinde

Szenarium: MIRAM-RBG

## Aktivitätsinventar

Referenzjahr: 2075

| | | | Abfallkategorien Art 51 KEV (2004) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | SMA | ATA | SMA+ATA | HAA |
| | | Bq | Bq | Bq | Bq | Bq |
| | | 1.92E+19 | 2.92E+16 | 1.25E+16 | 4.18E+16 | 1.92E+19 |
| | Nuklid | | | | | |
| 1 | H -003 -001 | 1.24E+16 | 7.11E+15 | 3.76E+14 | 7.48E+15 | 4.88E+15 |
| 2 | Be-010 -004 | 5.89E+09 | 5.50E+09 | 2.44E+06 | 5.50E+09 | 3.88E+08 |
| 3 | C -014 -006 | 2.35E+14 | 5.27E+13 | 4.78E+12 | 5.75E+13 | 1.77E+14 |
| 4 | Na-022 -011 | 3.97E+11 | 3.97E+11 | 1.72E+08 | 3.97E+11 | 3.99E+05 |
| 5 | Al-026 -013 | 6.61E+09 | 5.80E+09 | 6.98E+08 | 6.50E+09 | 1.12E+08 |
| 6 | Si-032 -014 | 7.17E+11 | 7.08E+11 | 7.74E+09 | 7.16E+11 | 9.51E+08 |
| 7 | P -032 -015 | 7.17E+11 | 7.09E+11 | 7.74E+09 | 7.16E+11 | 9.51E+08 |
| 8 | Cl-036 -017 | 5.41E+12 | 6.86E+11 | 2.90E+11 | 9.76E+11 | 4.44E+12 |
| 9 | Ar-039 -018 | 6.96E+13 | 2.51E+13 | 4.26E+11 | 2.55E+13 | 4.41E+13 |
| 10 | Ar-042 -018 | 1.68E+12 | 1.61E+12 | 7.10E+10 | 1.68E+12 | |
| 11 | K -040 -019 | 2.72E+09 | 1.89E+09 | 7.17E+08 | 2.61E+09 | 1.14E+08 |
| 12 | K -042 -019 | 1.68E+12 | 1.61E+12 | 7.10E+10 | 1.68E+12 | |
| 13 | Ca-041 -020 | 1.24E+12 | 4.79E+11 | 6.65E+09 | 4.86E+11 | 7.56E+11 |
| 14 | Ca-045 -020 | 1.31E+04 | 1.31E+04 | | 1.31E+04 | |
| 15 | Sc-044 -021 | 4.53E+13 | 4.47E+13 | 6.70E+11 | 4.53E+13 | |
| 16 | Ti-044 -022 | 4.53E+13 | 4.47E+13 | 6.70E+11 | 4.53E+13 | |
| 17 | V -049 -023 | 2.18E+06 | 2.17E+06 | 2.40E+03 | 2.18E+06 | 2.02E+01 |
| 18 | Mn-053 -025 | 2.83E+10 | 2.58E+10 | 1.82E+09 | 2.76E+10 | 7.01E+08 |
| 19 | Mn-054 -025 | 6.45E+09 | 6.45E+09 | 5.35E+04 | 6.45E+09 | 1.17E+04 |
| 20 | Fe-055 -026 | 3.95E+14 | 3.77E+14 | 1.26E+11 | 3.77E+14 | 1.77E+13 |
| 21 | Fe-059 -026 | 1.13E+06 | 1.13E+06 | | 1.13E+06 | |
| 22 | Fe-060 -026 | 5.04E+08 | 2.89E+08 | 1.76E+08 | 4.64E+08 | 3.95E+07 |
| 23 | Co-057 -027 | 5.44E+08 | 5.44E+08 | 2.60E+01 | 5.44E+08 | 4.46E+00 |
| 24 | Co-058 -027 | 7.73E+06 | 7.73E+06 | | 7.73E+06 | |
| 25 | Co-060 -027 | 1.67E+15 | 4.01E+14 | 4.22E+12 | 4.06E+14 | 1.27E+15 |
| 26 | Co-060M-027 | 5.04E+08 | 2.89E+08 | 1.76E+08 | 4.64E+08 | 3.95E+07 |
| 27 | Ni-059 -028 | 4.21E+14 | 2.18E+14 | 3.61E+11 | 2.18E+14 | 2.03E+14 |
| 28 | Ni-063 -028 | 4.66E+16 | 1.99E+16 | 6.02E+15 | 2.59E+16 | 2.07E+16 |
| 29 | Zn-065 -030 | 4.73E+08 | 4.73E+08 | 1.92E+04 | 4.73E+08 | |
| 30 | Ga-068 -031 | 5.33E+06 | 5.33E+06 | | 5.33E+06 | |
| 31 | Ge-068 -032 | 5.33E+06 | 5.33E+06 | | 5.33E+06 | |
| 32 | Se-079 -034 | 2.36E+13 | 3.25E+09 | 2.94E+10 | 3.26E+10 | 2.36E+13 |
| 33 | Kr-081 -036 | 9.74E+09 | 1.63E+09 | 3.92E+09 | 5.55E+09 | 4.20E+09 |
| 34 | Kr-085 -036 | 4.80E+16 | 4.39E+11 | 3.95E+12 | 4.39E+12 | 4.80E+16 |
| 35 | Rb-087 -037 | 4.39E+09 | 5.08E+08 | 2.60E+03 | 5.08E+08 | 3.88E+09 |
| 36 | Sr-090 -038 | 3.19E+18 | 1.59E+13 | 1.26E+15 | 1.28E+15 | 3.19E+18 |
| 37 | Y -090 -039 | 3.19E+18 | 1.59E+13 | 1.26E+15 | 1.28E+15 | 3.19E+18 |
| 38 | Zr-093 -040 | 3.82E+14 | 3.98E+12 | 4.24E+12 | 8.22E+12 | 3.73E+14 |
| 39 | Zr-095 -040 | 1.21E+07 | 1.21E+07 | | 1.21E+07 | |
| 40 | Nb-091 -041 | 1.03E+12 | 2.98E+11 | 6.77E+11 | 9.75E+11 | 5.82E+10 |
| 41 | Nb-092 -041 | 2.55E+07 | 2.96E+06 | 2.22E+06 | 5.18E+06 | 2.04E+07 |
| 42 | Nb-093M-041 | 3.49E+14 | 5.21E+12 | 6.23E+12 | 1.14E+13 | 3.38E+14 |
| 43 | Nb-094 -041 | 4.41E+13 | 8.14E+11 | 2.68E+13 | 2.76E+13 | 1.64E+13 |
| 44 | Nb-095 -041 | 2.63E+07 | 2.63E+07 | | 2.63E+07 | |
| 45 | Nb-095M-041 | 1.39E+05 | 1.39E+05 | | 1.39E+05 | |
| 46 | Mo-093 -042 | 3.63E+12 | 1.45E+12 | 1.50E+12 | 2.96E+12 | 6.77E+11 |
| 47 | Tc-097 -043 | 2.69E+07 | 2.96E+06 | 1.35E+07 | 1.65E+07 | 1.05E+07 |
| 48 | Tc-098 -043 | 1.01E+09 | 1.29E+06 | 4.51E+06 | 5.80E+06 | 1.01E+09 |
| 49 | Tc-099 -043 | 2.70E+15 | 8.18E+11 | 3.91E+12 | 4.73E+12 | 2.70E+15 |
| 50 | Ru-106 -044 | 3.77E+10 | 3.69E+10 | 4.11E+03 | 3.69E+10 | 8.13E+08 |
| 51 | Rh-101 -045 | 3.22E+09 | 1.63E+09 | 1.59E+09 | 3.22E+09 | 4.72E+05 |
| 52 | Rh-102 -045 | 8.08E+07 | 3.37E+06 | 4.16E+06 | 7.53E+06 | 7.32E+07 |
| 53 | Rh-102M-045 | 2.94E+10 | 1.19E+09 | 1.52E+09 | 2.71E+09 | 2.67E+10 |
| 54 | Rh-106 -045 | 3.77E+10 | 3.69E+10 | 4.11E+03 | 3.69E+10 | 8.13E+08 |
| 55 | Pd-107 -046 | 2.40E+13 | 8.58E+08 | 6.71E+09 | 7.56E+09 | 2.40E+13 |
| 56 | Ag-108 -047 | 6.21E+13 | 6.20E+13 | 2.47E+09 | 6.20E+13 | 6.65E+10 |
| 57 | Ag-108M-047 | 7.14E+14 | 7.13E+14 | 2.84E+10 | 7.13E+14 | 7.64E+11 |
| 58 | Ag-109M-047 | 6.29E+06 | 5.94E+06 | 1.36E+05 | 6.08E+06 | 2.18E+05 |
| 59 | Ag-110 -047 | 1.22E+08 | 1.22E+08 | | 1.22E+08 | 1.39E+00 |

**Mengengerüst angelieferter Abfallgebinde** | **Aktivitätsinventar**

Szenarium: MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075

| | | | Abfallkategorien Art 51 KEV (2004) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | SMA | ATA | SMA+ATA | HAA |
| | | Bq | Bq | Bq | Bq | Bq |
| | | 1.92E+19 | 2.92E+16 | 1.25E+16 | 4.18E+16 | 1.92E+19 |
| | Nuklid | | | | | |
| 60 | Ag-110M-047 | 8.98E+09 | 8.98E+09 | | 8.98E+09 | 1.03E+02 |
| 61 | Cd-109 -048 | 6.29E+06 | 5.94E+06 | 1.36E+05 | 6.08E+06 | 2.18E+05 |
| 62 | Cd-113M-048 | 3.10E+12 | 5.00E+09 | 2.45E+09 | 7.45E+09 | 3.09E+12 |
| 63 | In-113M-049 | 4.64E+07 | 4.64E+07 | | 4.64E+07 | |
| 64 | Sn-113 -050 | 4.63E+07 | 4.63E+07 | | 4.63E+07 | |
| 65 | Sn-119M-050 | 1.40E+07 | 1.40E+07 | | 1.40E+07 | 1.48E+03 |
| 66 | Sn-121 -050 | 1.47E+15 | 3.77E+10 | 8.72E+09 | 4.64E+10 | 1.47E+15 |
| 67 | Sn-121M-050 | 1.89E+15 | 4.86E+10 | 1.12E+10 | 5.98E+10 | 1.89E+15 |
| 68 | Sn-126 -050 | 6.70E+13 | 1.67E+11 | 5.56E+10 | 2.23E+11 | 6.68E+13 |
| 69 | Sb-124 -051 | 1.14E+06 | 1.14E+06 | | 1.14E+06 | |
| 70 | Sb-125 -051 | 4.12E+13 | 6.22E+12 | 6.09E+09 | 6.23E+12 | 3.50E+13 |
| 71 | Sb-126 -051 | 9.39E+12 | 2.34E+10 | 7.79E+09 | 3.12E+10 | 9.35E+12 |
| 72 | Sb-126M-051 | 6.70E+13 | 1.67E+11 | 5.56E+10 | 2.23E+11 | 6.68E+13 |
| 73 | Te-125M-052 | 1.01E+13 | 1.52E+12 | 1.49E+09 | 1.52E+12 | 8.56E+12 |
| 74 | I -129 -053 | 4.44E+12 | 2.10E+08 | 2.23E+09 | 2.44E+09 | 4.44E+12 |
| 75 | Cs-134 -055 | 3.30E+13 | 4.22E+10 | 2.14E+07 | 4.22E+10 | 3.30E+13 |
| 76 | Cs-135 -055 | 9.60E+13 | 5.45E+09 | 3.80E+10 | 4.35E+10 | 9.60E+13 |
| 77 | Cs-137 -055 | 5.04E+18 | 1.20E+14 | 1.54E+15 | 1.66E+15 | 5.04E+18 |
| 78 | Ba-133 -056 | 1.33E+12 | 4.52E+11 | 9.55E+10 | 5.48E+11 | 7.80E+11 |
| 79 | Ba-137M-056 | 4.77E+18 | 1.14E+14 | 1.46E+15 | 1.58E+15 | 4.77E+18 |
| 80 | La-137 -057 | 7.86E+09 | 5.54E+09 | 1.89E+08 | 5.73E+09 | 2.13E+09 |
| 81 | La-138 -057 | 1.30E+05 | 5.05E+04 | | 5.05E+04 | 7.93E+04 |
| 82 | Ce-144 -058 | 2.43E+10 | 2.43E+10 | | 2.43E+10 | 1.61E+06 |
| 83 | Pr-144 -059 | 2.44E+10 | 2.43E+10 | | 2.43E+10 | 1.61E+06 |
| 84 | Pr-144M-059 | 2.32E+08 | 2.32E+08 | | 2.32E+08 | 1.54E+04 |
| 85 | Pm-143 -061 | 5.17E+02 | 5.17E+02 | | 5.17E+02 | |
| 86 | Pm-144 -061 | 9.07E+03 | 9.07E+03 | | 9.07E+03 | |
| 87 | Pm-145 -061 | 1.01E+11 | 7.19E+09 | 5.38E+08 | 7.73E+09 | 9.37E+10 |
| 88 | Pm-146 -061 | 2.05E+10 | 9.36E+07 | 2.91E+06 | 9.65E+07 | 2.04E+10 |
| 89 | Pm-147 -061 | 3.14E+14 | 7.86E+10 | 1.86E+10 | 9.72E+10 | 3.13E+14 |
| 90 | Sm-145 -062 | 1.18E+04 | 1.18E+04 | | 1.18E+04 | 7.61E+00 |
| 91 | Sm-146 -062 | 3.67E+07 | 2.13E+07 | 5.03E+02 | 2.13E+07 | 1.54E+07 |
| 92 | Sm-147 -062 | 1.06E+09 | 1.13E+06 | 1.60E+04 | 1.15E+06 | 1.06E+09 |
| 93 | Sm-151 -062 | 3.13E+16 | 1.21E+12 | 1.80E+13 | 1.92E+13 | 3.12E+16 |
| 94 | Eu-150 -063 | 1.10E+10 | 3.70E+09 | 7.33E+09 | 1.10E+10 | |
| 95 | Eu-152 -063 | 2.87E+13 | 1.73E+12 | 2.76E+11 | 2.00E+12 | 2.67E+13 |
| 96 | Eu-154 -063 | 1.93E+16 | 5.56E+11 | 9.75E+11 | 1.53E+12 | 1.93E+16 |
| 97 | Eu-155 -063 | 7.91E+14 | 3.17E+10 | 2.89E+09 | 3.46E+10 | 7.91E+14 |
| 98 | Gd-148 -064 | 6.97E+09 | 6.70E+09 | 2.65E+08 | 6.97E+09 | |
| 99 | Gd-150 -064 | 1.32E+06 | 2.81E+05 | 1.03E+06 | 1.31E+06 | 1.03E+04 |
| 100 | Gd-153 -064 | 1.02E+02 | 1.02E+02 | | 1.02E+02 | |
| 101 | Tb-157 -065 | 9.41E+10 | 4.64E+10 | 1.21E+10 | 5.85E+10 | 3.55E+10 |
| 102 | Tb-158 -065 | 7.78E+10 | 2.30E+09 | 5.27E+09 | 7.56E+09 | 7.03E+10 |
| 103 | Dy-154 -066 | 4.02E+05 | 1.04E+05 | 2.98E+05 | 4.02E+05 | |
| 104 | Ho-163 -067 | 8.91E+09 | 7.08E+08 | 2.95E+09 | 3.66E+09 | 5.25E+09 |
| 105 | Ho-166M-067 | 2.11E+11 | 1.91E+10 | 6.15E+07 | 1.92E+10 | 1.91E+11 |
| 106 | Tm-170 -069 | 1.59E+00 | 1.59E+00 | | 1.59E+00 | |
| 107 | Tm-171 -069 | 5.12E+08 | 1.82E+06 | | 1.82E+06 | 5.10E+08 |
| 108 | Lu-172 -071 | 7.67E+08 | 6.71E+08 | 9.60E+07 | 7.67E+08 | 3.34E+02 |
| 109 | Lu-172M-071 | 7.59E+08 | 6.64E+08 | 9.50E+07 | 7.59E+08 | 3.31E+02 |
| 110 | Lu-173 -071 | 5.55E+07 | 5.37E+07 | 1.76E+06 | 5.55E+07 | 1.18E+02 |
| 111 | Lu-174 -071 | 4.55E+09 | 2.34E+09 | 2.16E+09 | 4.51E+09 | 4.32E+07 |
| 112 | Lu-176 -071 | 1.51E+05 | 1.35E+05 | | 1.35E+05 | 1.67E+04 |
| 113 | Hf-172 -072 | 7.59E+08 | 6.64E+08 | 9.50E+07 | 7.59E+08 | 3.31E+02 |
| 114 | Hf-178M-072 | 4.51E+08 | 8.52E+07 | 3.66E+08 | 4.51E+08 | |
| 115 | Hf-182 -072 | 1.09E+09 | 1.37E+07 | 3.52E+04 | 1.37E+07 | 1.08E+09 |
| 116 | Ta-179 -073 | 1.41E+09 | 1.25E+09 | 1.55E+08 | 1.41E+09 | 1.27E+04 |
| 117 | Ta-182 -073 | 1.09E+09 | 1.37E+07 | 3.52E+04 | 1.37E+07 | 1.08E+09 |
| 118 | Re-186 -075 | 2.71E+08 | 1.88E+07 | 5.91E+06 | 2.47E+07 | 2.46E+08 |

## Mengengerüst angelieferter Abfallgebinde

Szenarium: MIRAM-RBG

## Aktivitätsinventar

Referenzjahr: 2075

| | | Abfallkategorien Art 51 KEV (2004) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | SMA | ATA | SMA+ATA | HAA |
| | | Bq | Bq | Bq | Bq | Bq |
| | | 1.92E+19 | 2.92E+16 | 1.25E+16 | 4.18E+16 | 1.92E+19 |
| | Nuklid | | | | | |
| 119 | Re-186M-075 | 2.71E+08 | 1.88E+07 | 5.91E+06 | 2.47E+07 | 2.46E+08 |
| 120 | Re-187 -075 | 1.96E+07 | 1.91E+06 | 1.78E+03 | 1.92E+06 | 1.77E+07 |
| 121 | Os-194 -076 | 1.21E+08 | 3.52E+07 | 8.62E+07 | 1.21E+08 | 4.05E+04 |
| 122 | Ir-192 -077 | 4.88E+08 | 8.90E+07 | 3.99E+08 | 4.88E+08 | |
| 123 | Ir-192M-077 | 4.88E+08 | 8.89E+07 | 3.99E+08 | 4.88E+08 | |
| 124 | Ir-194 -077 | 1.21E+08 | 3.52E+07 | 8.63E+07 | 1.21E+08 | 4.05E+04 |
| 125 | Pt-190 -078 | 2.54E+03 | 4.58E+02 | 2.09E+03 | 2.54E+03 | |
| 126 | Pt-193 -078 | 4.41E+14 | 6.35E+12 | 2.78E+13 | 3.41E+13 | 4.07E+14 |
| 127 | Au-194 -079 | 6.59E+12 | 1.18E+12 | 5.41E+12 | 6.59E+12 | |
| 128 | Au-195 -079 | 2.71E+01 | 2.71E+01 | | 2.71E+01 | |
| 129 | Hg-194 -080 | 6.59E+12 | 1.18E+12 | 5.41E+12 | 6.59E+12 | |
| 130 | Tl-202 -081 | 1.26E+11 | 2.25E+10 | 1.03E+11 | 1.26E+11 | 3.71E+06 |
| 131 | Tl-204 -081 | 9.12E+11 | 3.85E+11 | 5.05E+11 | 8.90E+11 | 2.17E+10 |
| 132 | Tl-206 -081 | 4.84E+06 | 9.83E+05 | 9.09E+04 | 1.07E+06 | 3.76E+06 |
| 133 | Tl-207 -081 | 6.29E+09 | 1.75E+08 | 5.94E+06 | 1.81E+08 | 6.11E+09 |
| 134 | Tl-208 -081 | 1.96E+12 | 5.31E+09 | 1.23E+09 | 6.53E+09 | 1.95E+12 |
| 135 | Tl-209 -081 | 1.55E+07 | 3.11E+05 | 3.91E+03 | 3.15E+05 | 1.52E+07 |
| 136 | Tl-210 -081 | 1.16E+08 | 2.45E+07 | 9.13E+07 | 1.16E+08 | 3.33E+05 |
| 137 | Pb-202 -082 | 1.26E+11 | 2.25E+10 | 1.03E+11 | 1.26E+11 | 3.71E+06 |
| 138 | Pb-205 -082 | 1.09E+09 | 1.89E+08 | 8.56E+08 | 1.05E+09 | 4.49E+07 |
| 139 | Pb-209 -082 | 7.07E+08 | 1.41E+07 | 1.78E+05 | 1.43E+07 | 6.92E+08 |
| 140 | Pb-210 -082 | 5.14E+11 | 9.49E+10 | 4.19E+11 | 5.13E+11 | 7.33E+08 |
| 141 | Pb-211 -082 | 6.30E+09 | 1.75E+08 | 5.95E+06 | 1.81E+08 | 6.12E+09 |
| 142 | Pb-212 -082 | 5.45E+12 | 1.48E+10 | 3.42E+09 | 1.82E+10 | 5.43E+12 |
| 143 | Pb-214 -082 | 5.53E+11 | 1.17E+11 | 4.35E+11 | 5.51E+11 | 1.58E+09 |
| 144 | Bi-207 -083 | 1.06E+13 | 1.72E+12 | 8.91E+12 | 1.06E+13 | 9.35E+06 |
| 145 | Bi-208 -083 | 1.25E+09 | 4.12E+07 | 1.19E+09 | 1.23E+09 | 1.39E+07 |
| 146 | Bi-210 -083 | 5.14E+11 | 9.49E+10 | 4.19E+11 | 5.13E+11 | 7.33E+08 |
| 147 | Bi-210M-083 | 4.84E+06 | 9.83E+05 | 9.09E+04 | 1.07E+06 | 3.76E+06 |
| 148 | Bi-211 -083 | 6.30E+09 | 1.75E+08 | 5.95E+06 | 1.81E+08 | 6.12E+09 |
| 149 | Bi-212 -083 | 5.45E+12 | 1.48E+10 | 3.42E+09 | 1.82E+10 | 5.43E+12 |
| 150 | Bi-213 -083 | 7.07E+08 | 1.41E+07 | 1.78E+05 | 1.43E+07 | 6.92E+08 |
| 151 | Bi-214 -083 | 5.53E+11 | 1.17E+11 | 4.35E+11 | 5.52E+11 | 1.58E+09 |
| 152 | Bi-215 -083 | 5.06E+03 | 1.36E+02 | 2.71E+00 | 1.38E+02 | 4.92E+03 |
| 153 | Po-208 -084 | 1.15E+08 | 1.01E+08 | 1.41E+07 | 1.15E+08 | |
| 154 | Po-209 -084 | 1.42E+10 | 1.02E+09 | 1.32E+10 | 1.42E+10 | 1.34E+06 |
| 155 | Po-210 -084 | 5.13E+11 | 9.45E+10 | 4.18E+11 | 5.13E+11 | 7.18E+08 |
| 156 | Po-211 -084 | 1.74E+07 | 4.84E+05 | 1.64E+04 | 5.00E+05 | 1.69E+07 |
| 157 | Po-212 -084 | 3.49E+12 | 9.46E+09 | 2.19E+09 | 1.16E+10 | 3.48E+12 |
| 158 | Po-213 -084 | 6.91E+08 | 1.38E+07 | 1.74E+05 | 1.40E+07 | 6.77E+08 |
| 159 | Po-214 -084 | 5.53E+11 | 1.17E+11 | 4.35E+11 | 5.51E+11 | 1.58E+09 |
| 160 | Po-215 -084 | 6.30E+09 | 1.75E+08 | 5.95E+06 | 1.81E+08 | 6.12E+09 |
| 161 | Po-216 -084 | 5.45E+12 | 1.48E+10 | 3.42E+09 | 1.82E+10 | 5.43E+12 |
| 162 | Po-218 -084 | 5.53E+11 | 1.17E+11 | 4.35E+11 | 5.52E+11 | 1.58E+09 |
| 163 | At-217 -085 | 7.07E+08 | 1.41E+07 | 1.78E+05 | 1.43E+07 | 6.92E+08 |
| 164 | At-218 -085 | 1.11E+08 | 2.33E+07 | 8.70E+07 | 1.10E+08 | 3.17E+05 |
| 165 | At-219 -085 | 5.22E+03 | 1.40E+02 | 2.79E+00 | 1.43E+02 | 5.07E+03 |
| 166 | Rn-217 -086 | 4.94E+04 | 9.76E+02 | 1.08E+01 | 9.87E+02 | 4.85E+04 |
| 167 | Rn-218 -086 | 1.11E+05 | 2.33E+04 | 8.70E+04 | 1.10E+05 | 3.16E+02 |
| 168 | Rn-219 -086 | 6.30E+09 | 1.75E+08 | 5.95E+06 | 1.81E+08 | 6.12E+09 |
| 169 | Rn-220 -086 | 5.45E+12 | 1.48E+10 | 3.42E+09 | 1.82E+10 | 5.43E+12 |
| 170 | Rn-222 -086 | 5.53E+11 | 1.17E+11 | 4.35E+11 | 5.52E+11 | 1.58E+09 |
| 171 | Fr-221 -087 | 7.07E+08 | 1.41E+07 | 1.78E+05 | 1.43E+07 | 6.92E+08 |
| 172 | Fr-223 -087 | 8.71E+07 | 2.41E+06 | 8.20E+04 | 2.49E+06 | 8.46E+07 |
| 173 | Ra-223 -088 | 6.30E+09 | 1.75E+08 | 5.95E+06 | 1.81E+08 | 6.12E+09 |
| 174 | Ra-224 -088 | 5.45E+12 | 1.48E+10 | 3.42E+09 | 1.82E+10 | 5.43E+12 |
| 175 | Ra-225 -088 | 7.07E+08 | 1.41E+07 | 1.78E+05 | 1.43E+07 | 6.93E+08 |
| 176 | Ra-226 -088 | 5.53E+11 | 1.17E+11 | 4.35E+11 | 5.52E+11 | 1.58E+09 |
| 177 | Ra-228 -088 | 1.54E+10 | 1.20E+10 | 3.36E+09 | 1.53E+10 | 3.18E+07 |

## Mengengerüst angelieferter Abfallgebinde

Szenarium: MIRAM-RBG

## Aktivitätsinventar

Referenzjahr: 2075

| | | Abfallkategorien Art 51 KEV (2004) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | SMA | ATA | SMA+ATA | HAA |
| | | Bq | Bq | Bq | Bq | Bq |
| | | 1.92E+19 | 2.92E+16 | 1.25E+16 | 4.18E+16 | 1.92E+19 |
| | Nuklid | | | | | |
| 178 | Ac-225 -089 | 7.07E+08 | 1.41E+07 | 1.78E+05 | 1.43E+07 | 6.92E+08 |
| 179 | Ac-227 -089 | 6.31E+09 | 1.75E+08 | 5.94E+06 | 1.81E+08 | 6.13E+09 |
| 180 | Ac-228 -089 | 1.54E+10 | 1.20E+10 | 3.36E+09 | 1.53E+10 | 3.18E+07 |
| 181 | Th-227 -090 | 6.22E+09 | 1.73E+08 | 5.87E+06 | 1.78E+08 | 6.04E+09 |
| 182 | Th-228 -090 | 5.45E+12 | 1.48E+10 | 3.42E+09 | 1.82E+10 | 5.43E+12 |
| 183 | Th-229 -090 | 7.08E+08 | 1.41E+07 | 1.78E+05 | 1.43E+07 | 6.93E+08 |
| 184 | Th-230 -090 | 1.13E+11 | 3.09E+07 | 3.96E+07 | 7.04E+07 | 1.13E+11 |
| 185 | Th-231 -090 | 1.68E+12 | 1.25E+09 | 2.20E+09 | 3.45E+09 | 1.68E+12 |
| 186 | Th-232 -090 | 1.59E+10 | 1.24E+10 | 3.48E+09 | 1.59E+10 | 3.19E+07 |
| 187 | Th-234 -090 | 3.38E+13 | 3.16E+10 | 7.20E+10 | 1.04E+11 | 3.37E+13 |
| 188 | Pa-231 -091 | 7.91E+09 | 1.29E+07 | 3.01E+06 | 1.59E+07 | 7.89E+09 |
| 189 | Pa-232 -091 | 6.69E+05 | 1.46E+02 | | 1.46E+02 | 6.69E+05 |
| 190 | Pa-233 -091 | 6.93E+13 | 1.75E+08 | 1.94E+11 | 1.94E+11 | 6.91E+13 |
| 191 | Pa-234 -091 | 5.40E+10 | 5.06E+07 | 1.15E+08 | 1.66E+08 | 5.38E+10 |
| 192 | Pa-234M-091 | 3.38E+13 | 3.16E+10 | 7.20E+10 | 1.04E+11 | 3.37E+13 |
| 193 | U -232 -092 | 5.28E+12 | 2.93E+09 | 1.11E+08 | 3.04E+09 | 5.28E+12 |
| 194 | U -233 -092 | 1.04E+11 | 1.06E+09 | 5.40E+07 | 1.12E+09 | 1.03E+11 |
| 195 | U -234 -092 | 2.36E+14 | 2.70E+10 | 5.64E+10 | 8.34E+10 | 2.36E+14 |
| 196 | U -235 -092 | 1.68E+12 | 1.25E+09 | 2.20E+09 | 3.45E+09 | 1.68E+12 |
| 197 | U -235M-092 | 3.98E+16 | 6.00E+11 | 1.95E+13 | 2.01E+13 | 3.98E+16 |
| 198 | U -236 -092 | 4.03E+13 | 1.77E+08 | 4.00E+09 | 4.18E+09 | 4.03E+13 |
| 199 | U -237 -092 | 3.27E+13 | 3.64E+08 | 3.57E+09 | 3.93E+09 | 3.27E+13 |
| 200 | U -238 -092 | 3.38E+13 | 3.16E+10 | 7.20E+10 | 1.04E+11 | 3.37E+13 |
| 201 | U -240 -092 | 1.79E+08 | 9.53E+01 | 3.21E+04 | 3.22E+04 | 1.79E+08 |
| 202 | Np-235 -093 | 1.73E+04 | 1.73E+04 | | 1.73E+04 | 1.42E+01 |
| 203 | Np-236 -093 | 3.34E+08 | 7.30E+04 | | 7.30E+04 | 3.34E+08 |
| 204 | Np-237 -093 | 6.93E+13 | 1.75E+08 | 1.94E+11 | 1.94E+11 | 6.91E+13 |
| 205 | Np-238 -093 | 9.06E+12 | 6.01E+07 | 2.96E+08 | 3.56E+08 | 9.06E+12 |
| 206 | Np-239 -093 | 6.26E+15 | 2.24E+10 | 6.13E+11 | 6.36E+11 | 6.26E+15 |
| 207 | Np-240 -093 | 2.14E+05 | | 3.86E+01 | 3.86E+01 | 2.14E+05 |
| 208 | Np-240M-093 | 1.79E+08 | 9.53E+01 | 3.21E+04 | 3.22E+04 | 1.79E+08 |
| 209 | Pu-236 -094 | 4.11E+09 | 3.77E+06 | 4.28E+02 | 3.77E+06 | 4.11E+09 |
| 210 | Pu-238 -094 | 5.21E+17 | 1.49E+12 | 8.41E+13 | 8.56E+13 | 5.21E+17 |
| 211 | Pu-239 -094 | 3.98E+16 | 6.00E+11 | 1.95E+13 | 2.01E+13 | 3.98E+16 |
| 212 | Pu-240 -094 | 8.45E+16 | 3.95E+11 | 2.58E+13 | 2.62E+13 | 8.45E+16 |
| 213 | Pu-241 -094 | 1.33E+18 | 1.48E+13 | 1.45E+14 | 1.60E+14 | 1.33E+18 |
| 214 | Pu-242 -094 | 4.51E+14 | 1.04E+09 | 1.07E+11 | 1.08E+11 | 4.51E+14 |
| 215 | Pu-243 -094 | 3.45E+08 | 3.17E+03 | 1.10E+04 | 1.42E+04 | 3.45E+08 |
| 216 | Pu-244 -094 | 1.79E+08 | 9.53E+01 | 3.21E+04 | 3.22E+04 | 1.79E+08 |
| 217 | Pu-246 -094 | 9.85E+03 | | | 0.00E+00 | 9.85E+03 |
| 218 | Am-241 -095 | 6.64E+17 | 2.89E+12 | 1.66E+14 | 1.69E+14 | 6.64E+17 |
| 219 | Am-242 -095 | 1.96E+15 | 1.30E+10 | 6.42E+10 | 7.73E+10 | 1.96E+15 |
| 220 | Am-242M-095 | 1.97E+15 | 1.31E+10 | 6.45E+10 | 7.76E+10 | 1.97E+15 |
| 221 | Am-243 -095 | 6.26E+15 | 2.24E+10 | 6.13E+11 | 6.36E+11 | 6.26E+15 |
| 222 | Am-244 -095 | 1.96E+05 | 2.81E+01 | | 2.81E+01 | 1.96E+05 |
| 223 | Am-246M-095 | 9.85E+03 | | | 0.00E+00 | 9.85E+03 |
| 224 | Cm-242 -096 | 1.63E+15 | 1.08E+10 | 5.33E+10 | 6.41E+10 | 1.63E+15 |
| 225 | Cm-243 -096 | 1.59E+15 | 9.48E+09 | 5.21E+10 | 6.15E+10 | 1.59E+15 |
| 226 | Cm-244 -096 | 1.37E+17 | 8.04E+11 | 5.25E+12 | 6.06E+12 | 1.37E+17 |
| 227 | Cm-245 -096 | 2.19E+14 | 6.72E+08 | 8.43E+09 | 9.10E+09 | 2.19E+14 |
| 228 | Cm-246 -096 | 6.29E+13 | 3.00E+08 | 2.53E+09 | 2.83E+09 | 6.29E+13 |
| 229 | Cm-247 -096 | 3.45E+08 | 3.17E+03 | 1.10E+04 | 1.42E+04 | 3.45E+08 |
| 230 | Cm-248 -096 | 1.42E+09 | 4.55E+04 | 5.34E+04 | 9.89E+04 | 1.42E+09 |
| 231 | Cm-250 -096 | 1.42E+04 | | | 0.00E+00 | 1.42E+04 |
| 232 | Bk-247 -097 | 3.05E+03 | | | 0.00E+00 | 3.05E+03 |
| 233 | Bk-248 -097 | 1.96E+05 | 2.81E+01 | | 2.81E+01 | 1.96E+05 |
| 234 | Bk-249 -097 | 2.38E+03 | 2.38E+03 | | 2.38E+03 | |
| 235 | Bk-250 -097 | 4.37E+03 | | | 0.00E+00 | 4.37E+03 |
| 236 | Cf-249 -098 | 2.29E+10 | 1.69E+06 | 1.03E+06 | 2.72E+06 | 2.29E+10 |

**Mengengerüst angelieferter Abfallgebinde** | **Aktivitätsinventar**

Szenarium: MIRAM-RBG | Referenzjahr: 2075

| | | Abfallkategorien Art 51 KEV (2004) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | SMA | ATA | SMA+ATA | HAA |
| | | Bq | Bq | Bq | Bq | Bq |
| | | 1.92E+19 | 2.92E+16 | 1.25E+16 | 4.18E+16 | 1.92E+19 |
| | Nuklid | | | | | |
| 237 | Cf-250 -098 | 1.09E+10 | 1.62E+06 | | 1.62E+06 | 1.09E+10 |
| 238 | Cf-251 -098 | 1.58E+09 | 1.23E+05 | 3.29E+04 | 1.56E+05 | 1.58E+09 |
| 239 | Cf-252 -098 | 6.82E+06 | 7.68E+03 | | 7.68E+03 | 6.81E+06 |