

# Deckblatt



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Blatt: 1
N A A N	N N N N N N N N N N	N N A A A N N	A A N N N A	A A N N	A A A A	A A	N N N N	N N	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	Stand: 12.03.2025

Titel der Unterlage:

Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachtanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)

Ersteller/Unterschrift:

Brenk Systemplanung GmbH

Prüfer/Unterschrift:



Stempelfeld:

Datum und Unterschrift				

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der BGE.



# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 3
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

## Inhaltsverzeichnis

**Blatt**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Geltungsbereich</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Begriffe und Abkürzungen</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Verantwortung</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Mitgeltende Unterlagen</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Behebung Defizit D-1: Erweiterung der ASSEKAT zur Ermittlung des Kernmaterialbestands</b>	<b>9</b>
6.1	Beschreibung des Defizites	9
6.2	Behebung des Defizites	9
6.3	Implementierung in VBA	15
<b>7</b>	<b>Behebung Defizit D-3: Dokumentation der verfügbaren Angaben zu den Anreicherungsgraden</b>	<b>17</b>
7.1	Beschreibung des Defizites	17
7.2	Abgleich mit den Originaldokumenten	17
7.3	Anpassungen in der Datentabelle „Kernbrennstoffe-mod“	21
<b>8</b>	<b>Behebung Defizit D-11: Hochrechnung der Dosisleistungen</b>	<b>21</b>
8.1	Beschreibung des Defizites	21
8.2	Vervollständigung fehlender Daten zur ODL eingelagerter Gebinde	22
8.2.1	ML-Massenangaben	22
8.2.2	ML-basierte ODL-Imputation	32
8.3	Validierungsrechnungen zur unabhängigen Bestätigung der ODL-Werte	39
8.4	Entwicklung eines Berechnungsverfahrens zur Ermittlung der ODL	42
8.5	Implementierung der Ausgabe chargenbezogener ODL-Werte in der ASSEKAT	45
<b>9</b>	<b>Behebung Defizit D-12: Überprüfung der Nuklidaktivitäten</b>	<b>46</b>
9.1	Beschreibung des Defizites	46
9.2	Implementierung in VBA	48
9.3	Anpassung der Datentabelle „ISS Kataster“	49
9.4	Überprüfung von Chargen ohne Aktivität (NULL-Chargen)	49
9.4.1	Ablieferer GFK/KfK	52
9.4.2	Ablieferer KFA	55
9.4.3	Ablieferer FRM	56
9.4.4	Ablieferer HOE	58
9.4.5	Ablieferer GSF Han	62
9.4.6	Ablieferer MPI	63
9.4.7	Fehlende Angaben zum Aktivitätsinventar der ELK 4/750	64
9.4.8	Fazit	66
<b>10</b>	<b>Behebung Defizit D-16: Berücksichtigung kurzlebiger Nuklide</b>	<b>66</b>
10.1	Beschreibung des Defizites	66
10.2	Behebung des Defizites	66
<b>11</b>	<b>Behebung Defizit D-23: Fallunterscheidungen im VBA-Code</b>	<b>66</b>
11.1	Beschreibung des Defizites	66
11.2	Behebung des Defizites	67
11.3	Implementierung in VBA	67
11.4	Änderungen und Anpassungen in der Datenbank	67
11.5	Dokumentation der Berechnungsroutinen	68

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 4
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

<b>12</b>	<b>Behebung Defizit D-24: Implementierung eines Zerfallsmoduls</b>	<b>68</b>
12.1	Beschreibung des Defizites	68
12.2	Eingabedatei mit den Nukliddaten	69
12.3	Grundlagen zur Zerfallskorrektur	69
12.4	Funktionen der DLL und Schnittstelle zu VBA	71
12.5	Ergänzung der Datentabelle „Deltanuklidaktivitäten“	77
<b>13</b>	<b>Behebung Defizit D-27: Abfragen zur Aktivitätsberechnung nach Zerfallsarten</b>	<b>78</b>
13.1	Beschreibung des Defizites	78
13.2	Anpassung der Datentabelle „ISS Nuklide“	79
13.3	Anpassung der Datentabelle „ISS Kataster“	80
13.4	Anpassung der Abfragen	80
<b>14</b>	<b>Behebung Defizit D-28: Chargen mit Kernbrennstoffen in ELK 4/750</b>	<b>80</b>
14.1	Beschreibung des Defizites	80
14.2	Überprüfung der Unterlagen und der ASSEKAT	80
14.3	Anpassung des VBA-Codes / der ASSEKAT	83
<b>15</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>84</b>
<b>16</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>86</b>

## Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1: Dokumentation der Roteinträge aus den Fasskontrollbüchern	88
---	----

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Unterschiede in den Versionen 1 und 2 zur Kernmaterialbilanzierung	11
Tabelle 2:	Auswirkung unterschiedlicher Bandbreiten natürlicher Verhältnisse der Stoffmengenanteile von U-235 und U-238 in Natururan auf die berechneten Massen von $U_{LEU}$ , $U_{HEU}$ , $U_{nat}$ und $U_{abg}$	15
Tabelle 3	Informationen zu Anreicherungsgraden in den Begleitlisten	17
Tabelle 4	Informationen zu Isotopenverhältnissen in Massen-% bzw. zu U-235-Massen in den Fragebögen ( <b>rot</b> : Abweichung zu „Kernbrennstoffe-mod“)	18
Tabelle 5:	WAK-Kampagnen und festgelegte U-235-Massenverhältnisse	20
Tabelle 6:	Berechnungsroutinen, welche von der natürlichen Isotopenzusammensetzung abweichen	20
Tabelle 7:	Ableitung von Abfallmassen gem. „Katalog Abfallart“, Feld „Abfallart neu“	23
Tabelle 8:	Vergleich der Unsicherheiten nach Methoden und Besonderheiten	32
Tabelle 9:	Übersicht Datensätze und Ergebnisse der MicroShield® Rechnungen.	40
Tabelle 10:	Übersicht MAW-Datensätze und Vergleich von ASSEKAT und ML-Imputation mit MicroShield®	41
Tabelle 11:	Zusammenstellung der Ablieferer mit NULL-Chargen	50
Tabelle 12:	Übersicht über verschiedene Anteile der Null-Gebinde der untersuchten Ablieferer	51
Tabelle 13:	NULL-Chargen des Ablieferers GFK/KfK	53
Tabelle 14:	Überschlägige Aktivitätsabschätzung für NULL-Gebinde der WAK-Kampagne „Uranbetrieb“	54
Tabelle 15:	NULL-Chargen des Ablieferers KFA	55
Tabelle 16:	NULL-Chargen des Ablieferers FRM	56
Tabelle 17:	NULL-Chargen des Ablieferers HOE	58
Tabelle 18:	Zerfallskorrigierte Aktivitätsabschätzung für 119 NULL-Gebinde der ID-Nr. 306 zum Stichtag 01.01.1980:	61
Tabelle 19:	NULL-Chargen des Ablieferers GSF Han	62

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 5
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Tabelle 20:	NULL-Chargen des Ablieferers MPI	63
Tabelle 21:	Übersicht über die kernmaterialhaltigen Abfälle der Ablieferer in der ELK 4/750	65
Tabelle 22:	Grundsätzlicher Aufbau der Datentabelle „Deltanuklidaktivitäten“	77
Tabelle 23:	Zuordnung der Deltanuklide zu den Zerfallsarten „Alpha“ bzw. „Beta/Gamma“	78
Tabelle 24:	Zuordnung der Nuklide zu den Zerfallsarten in der Datentabelle „ISS Nuklide“	79
Tabelle 25:	Dokumentationslage zu Chargen der ID-Nr. 294 des Ablieferer KRT in der ELK 4/750	82
Tabelle 26:	Änderung der Massen von U-234, U-235 und U-238 bei Anpassung der Masseverhältnisse	83
Tabelle 27:	Parameterwerte zur Berechnung der unterschiedlichen Massenverhältnisse für die Chargen der ID-Nr. 294	84

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Oberfläche des PAI-Formulars mit Auswahlmöglichkeiten zur Berechnung des Anreicherungsgrades	16
Abbildung 2:	Oberfläche des PAI-Formulars mit Auswahlmöglichkeit der Abfrage zur Kernmaterialbilanzierung	16
Abbildung 3:	Vergleich der mittleren absoluten Abweichung (MAE) und der Standardabweichung (RMSE) der vorhergesagten Werte des Trainingsdatensatzes verschiedener ML-Algorithmen.	25
Abbildung 4:	Grundsätzlicher Aufbau eines der vier DecisionTreeRegressor-Modelle, aus dem das finale ML-RandomForestRegressor-Modell aufgebaut ist.	27
Abbildung 5:	Einfluss der Spalten auf die Vorhersage des finalen RandomForestRegressor-Modells.	28
Abbildung 6:	Vergleich der vorhergesagten Massewerte und der tatsächlichen Werte des Trainingsdatensatzes des finalen Modells.	29
Abbildung 7:	Häufigkeitsverteilung der tatsächlichen und vorhergesagten Masseverteilung der Trainingsdatenmenge (links) und der Testdatenmenge (rechts).	29
Abbildung 8:	Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Massedaten der ASSEKAT mit den ML-Algorithmus imputierten Daten.	30
Abbildung 9:	Eingelagerte Gebinde pro Jahr mit und ohne Masseangabe (links) und Abfallkategorie (rechts) als Funktion des Einlagerungszeitpunkts.	31
Abbildung 10:	Vergleich der mittleren absoluten Abweichung (MAE) und der Standardabweichung (RMSE) der vorhergesagten Werte des Trainingsdatensatzes verschiedener ML-Algorithmen	35
Abbildung 11:	Einfluss der Spalten auf die Vorhersage des finalen RandomForestRegressor-Modells.	36
Abbildung 12:	Vergleich der vorhergesagten Massewerte und der tatsächlichen Werte des Trainingsdatensatzes (links) und Vergleich der Häufigkeitsverteilung der log10-ODL(1m) der tatsächlichen (blau) und vorhergesagten (orange) Werte des Trainingsdatensatzes (rechts).	37
Abbildung 13:	Vergleich der vorhergesagten Massewerte und der tatsächlichen Werte des Testdatensatzes (links) und Vergleich der Häufigkeitsverteilung der log10-ODL(1m) der tatsächlichen (blau) und vorhergesagten (orange) Werte des Testdatensatzes (rechts).	38
Abbildung 14:	Vergleich der Häufigkeitsverteilung der ODL(1m) in der ASSEKAT (blau) mit den ML-Algorithmus imputierten Daten (orange).	39

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 6
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Abbildung 15: Histogramm der Dosisleistung in einem Meter Entfernung für die Chargen der angegebenen Gebindetypen, bei denen kein Nuklid aus „ISS Kataster“ eine Aktivität von 10 Bq überschreitet.	40
Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der Aktivität des Nuklid Mn-54 aller es beinhaltenden Chargen mit linearen Verhalten nach dem Zerfallsgesetz (links) und Th-230, zum Teil rein nach dem Zerfallsgesetz linear abfallend (Änderung ist minimal) und durch das Nachbilden dieses Nuklides durch die Zerfallsketten ansteigend.	43
Abbildung 17: Gemittelter Aktivitätsverlauf aller Chargen die Aktivitäten von Th-230 enthalten (gezeigt in Abbildung 13 rechts) als Funktion der Einlagerungszeit und gefittete modifizierte Exponentialfunktion. Die vertikalen Striche geben die Standardabweichung der eingeflossenen Aktivitäten an.	44
Abbildung 18: Auswirkungen der Zerfallskorrektur auf die ODL-Werte. Links: mittleres zeitliches Verhalten mit Violinenplots zur Veranschaulichung der Verteilung zum jeweiligen Zeitpunkt aller Chargen; rechts: relatives zeitliches Verhalten der ODL.	46
Abbildung 19: Filterung der Chargen nach den Kontrollmeldungen „Ch_ber“ und „Ch_vern“ in „ISS Kataster“	47
Abbildung 20: Begleitliste zur ID-Nr. 2384 des Ablieferers FRM	57
Abbildung 21: Auszug aus der Begleitliste zu ID-Nr. 1982 des Ablieferers GSF Han	63
Abbildung 22: Anteil der NULL-Gebinde pro Ablieferer in der ELK 4/750	64
Abbildung 23: Anpassung des PAI-Formulars um Option 11	78
<b>Blattzahl der Unterlage</b>	<b>91</b>

<b>Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)</b>									 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 7
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

**Freigabeblatt des Auftragnehmers**

**Auftraggeber:**

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)  
Willy-Brandt-Str. 5  
38226 Salzgitter



**Brenk  
Systemplanung**

Ingenieurgesellschaft für wissenschaftlich  
technischen Umweltschutz

**Auftragnehmer:**

Brenk Systemplanung GmbH  
Heider-Hof-Weg 23  
52080 Aachen  
Telefon: 02405 4651-35  
E-Mail: mail@brenk.com

Bestell-Nr. (AG)

45223000

Ersteller/Bearbeiter (AN)



Name / Unterschrift

Aachen, 12.03.2025

Prüfer (AN)

Freigabe\* (AN)



Name / Unterschrift



Name / Unterschrift

\*) Die Freigabe bezieht sich auf die im Inhaltsverzeichnis angegebenen Dokumente

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 8
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

## 1 Einleitung

Im Rahmen von [1] wurden verschiedene Defizite in der ASSEKAT identifiziert und zum größten Teil auch behoben. Jedoch konnten nicht alle der zusammengestellten Defizite im Rahmen des o. g. Auftrags behoben werden. Dies betrifft die folgenden Defizite:

- Defizit D-1: Erweiterung der ASSEKAT zur Ermittlung des Kernmaterialbestands
- Defizit D-3: Dokumentation der verfügbaren Angaben zu den Anreicherungsgraden
- Defizit D-11: Hochrechnung der Dosisleistungen
- Defizit D-12: Überprüfung der Nuklidaktivitäten
- Defizit D-16: Berücksichtigung kurzlebiger Nuklide
- Defizit D-23: Fallunterscheidungen im VBA-Code
- Defizit D-24: Implementierung eines Zerfallsmoduls

Gegenstand der nachfolgenden Dokumentation ist die Behebung dieser bisher noch bestehenden sowie weiterer, zusätzlich identifizierter Defizite:

- Defizit D-27: Abfragen zur Aktivitätsberechnung nach Zerfallsarten
- Defizit D-28: Chargen mit Kernbrennstoffen in ELK 4/750

## 2 Geltungsbereich

Der vorliegende Bericht bezieht sich auf die Beschreibung der Defizite und deren Behebung im Rahmen der Aktualisierung der ASSEKAT 10.0 auf die Version 11.0.

## 3 Begriffe und Abkürzungen

BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
Conradty	C. Conradty, Werk Grünthal
ELK	Einlagerungskammer
FRM	Forschungsreaktor München
GFK/KfK	Gesellschaft für Kernforschung mbH/Kernforschungszentrum Karlsruhe
GSF Han	Gesellschaft für Strahlenforschung, Standort Hannover
HEU	hochangereichertes Uran (engl. <i>high enriched uranium</i> )
HMI	Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung
HOE	Farbwerke Hoechst AG
IB	Innenbehälter
ID-Nr	Identifikationsnummer
ISS	Institut für Strahlenschutz der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH
KBS	Kernbrennstoff
KFA	Kernforschungsanlage Jülich
KRB	Kernkraftwerk Gundremmingen (Kernkraftwerk RWE-Bayernwerk GmbH)
KRT	Kernreaktorteile GmbH
KWL	Kernkraftwerk Lingen GmbH
KWO	Kernkraftwerk Obrigheim GmbH
KWU	Kraftwerk Union AG, Karlstein
LAW	schwachradioaktive Abfälle (engl. <i>low active waste</i> )
LEU	niedrig angereichertes Uran (engl. <i>low enriched uranium</i> )
MA	Mischabfälle
MAE	mittlere absolute Abweichung (engl. <i>Mean Absolute Error</i> )
MAW	mittelradioaktive Abfälle (engl. <i>medium active waste</i> )

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 9

ML	Machine Learning
MPI	Max-Planck-Institut, Göttingen
NaN	Platzhalter für „unbekannt“ (engl. <i>not a number</i> )
Nr.	Nummer
NUK	Nukem GmbH
ODL	Ortsdosisleistung
PAI	Programm zur Aktualisierung des Asse-Inventars
PVC	Polyvinylchlorid
RMSE	Standardabweichung (engl. <i>root mean squared error</i> )
SQL	Structured Query Language
Sub	Sub-Prozedur
TNr	Transportnummer
VBA	Visual Basic for Applications
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe

## 4 Verantwortung

Unterlagenverantwortliche Stelle ist ASE-RH.3 (Abteilung Rückholung, Asse Abfallbehandlung) der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE).

## 5 Mitgeltende Unterlagen

- /1/ Brenk Systemplanung GmbH (2025): Dokumentation der Datenbank ASSEKAT 11.0. Brenk Systemplanung GmbH, Aachen. BGE-SZ-KZL: 9A/25110000/MAM/RB/0008/00.
- /2/ Brenk Systemplanung GmbH (2025): Benutzerhandbuch zur Bedienung der ASSEKAT 11.0. Brenk Systemplanung GmbH, Aachen. BGE-SZ-KZL: 9A/25110000/MAM/RB/0009/00.

## 6 Behebung Defizit D-1: Erweiterung der ASSEKAT zur Ermittlung des Kernmaterialbestands

### 6.1 Beschreibung des Defizites

Das PAI lieferte bislang nur unzureichend aufbereitete Daten zum eingelagerten Kernmaterialinventar, sodass eine Datennachbearbeitung außerhalb der Datenbank erforderlich ist.

Es fehlte somit eine Erweiterung der ASSEKAT zur Ermittlung des Kernmaterialbestands (z. B. für Euratom-Meldungen oder einer Bilanzierung des Kernbrennstoffinventars).

### 6.2 Behebung des Defizites

Eine Erweiterung zur Kernmaterialberechnung wurde in [2] entwickelt und dokumentiert und in die ASSEKAT 11.0 implementiert.

Mit Hilfe dieses Moduls ist es auf Basis des zu einem Stichtag berechneten und in der Ergebnistabelle „ISS Kataster“ ausgegebenen chargenweisen Aktivitätsinventars möglich, den Kernmaterialbestand chargen- sowie gebindeweise zu bilanzieren und in einer separaten Ergebnistabelle zu speichern.

Die gebindescharfe Bilanzierung erfolgt auf Basis einer mittleren Angabe pro Gebinde, ausgehend von der Anzahl Gebinde pro Charge und dem jeweiligen Chargenwert. Neben den relevanten Thorium-, Uran- und Plutoniumisotopen erfolgt zudem eine Klassifizierung in niedrig angereichertes Uran (LEU), hochangereichertes Uran (HEU) und Natururan ( $U_{nat}$ ) bzw. abgereichertes Uran ( $U_{abg}$ ).

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 10
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Zudem wird pro Charge bzw. Gebinde angegeben, ob es sich um Kernbrennstoff i. S. v. § 2 Abs. 1 und 3 Atomgesetz (AtG) handelt.

Im Vergleich zum dokumentierten Code in [2] (nachfolgend als Version 1 bezeichnet) wurde folgende Anpassung im Modul „Kernmaterialbilanzierung“ vorgenommen (nachfolgend als Version 2 bezeichnet):

Sofern kein angereichertes Uran vorliegt ( $U_{\text{ang}} = 0$ ) erfolgt die weitere Prüfung dahingehend, ob die Summe der Massen von Pu-239 und Pu-241 pro Gebinde/Charge größer 15 g ist, um das Gebinde/die Charge weiterhin als potenziell kernbrennstoffhaltig zu führen (Version 2). Die Codeanpassung ist nachfolgend dargestellt (Änderungen zum Code gem. [2] sind fett hervorgehoben):

## Version 1 gem. [2]:

```
If (MassePu239 + MassePu241 > 0#) Then
    ' Abfalleinheit enthält potenziell
    Kernbrennstoff (Pu239+Pu241>0,Uang=0)
    ' Prüfen der (modifizierten)
    Konzentrationsbedingung K1.2
    If (xMass / (MassePu239 + MassePu241 +
    MasseUges) <= KBKKonz) Then
        ' Abfalleinheit enthält keinen
        Kernbrennstoff
        KernbrennstoffmasseAbfalleinheit = 0#
    Else
        ' Abfalleinheit enthält Kernbrennstoff
        (Pu239+Pu241>0,Uang=0)
        ' Berechnung der Kernbrennstoffmasse
        der Abfalleinheit (=Pu239+ Pu241)
        KernbrennstoffmasseAbfalleinheit =
        MassePu239 + MassePu241
    End If
[...]
```

## Version 2:

```
If (MassePu239 + MassePu241 > 15) Then
    ' Abfalleinheit enthält potenziell Kernbrennstoff
    (Pu239+Pu241>15, Uang=0)
    ' Prüfen der (modifizierten)
    Konzentrationsbedingung K1.2
    If ((MassePu239 + MassePu241) /
    (MassePu239 + MassePu241 + MasseUges)
    <= KBKKonz) Then
        ' Abfalleinheit enthält keinen
        Kernbrennstoff
        KernbrennstoffmasseAbfalleinheit = 0#
    Else
        ' Abfalleinheit enthält Kernbrennstoff
        (Pu239+Pu241>15, Uang=0)
        ' Berechnung der in der Abfalleinheit
        enthaltenen Kernbrennstoffmasse,
        gegeben durch die Summe der Masse
        von Pu239 und Pu241
        KernbrennstoffmasseAbfalleinheit =
        MassePu239 + MassePu241
        ' Kernbrennstoffmasse der
        Abfalleinheit
    End If
[...]
```

Die Unterschiede in den Berechnungen von Version 1 und Version 2 zum Stichtag 01.01.1980 treten für 90 Chargen (145 Gebinde), wie in Tabelle 1 dargestellt, auf. Es ergibt sich eine Differenz von 831,73 g bei chargenweiser Betrachtung bzw. 415,28 g bei gebindeweiser Betrachtung. Diese Unterschiede wirken sich jedoch nicht auf die Kernbrennstoffbilanzierung aus, da hiervon nur Chargen bzw. Gebinde betroffen sind, welche in beiden Versionen als  $U_{\text{nat}}/U_{\text{abg}}$  klassifiziert werden und somit das Massenkriterium von 15 g gem. § 2 Abs. 1 AtG bereits unterschreiten.

Tabelle 1: Unterschiede in den Versionen 1 und 2 zur Kernmaterialbilanzierung

Chargen-Nr.	ELK	Anzahl Gebinde	Differenz V1-V2: KBS pro Charge [g]	Differenz V1-V2: KBS pro Gebinde [g]	Urananreicherungs-kategorie Charge V1	Urananreicherungs-kategorie Charge V2	Urananreicherungs-kategorie Gebinde V2	Urananreicherungs-kategorie Gebinde V2	Masse KBS pro Charge V1 [g]	Masse KBS pro Charge V2 [g]	Masse KBS pro Gebinde V1 [g]	Masse KBS pro Gebinde V2 [g]
	<b>Σ:</b>	<b>450</b>	<b>831,72</b>	<b>415,28</b>					<b>1.022,63</b>	<b>190,90</b>	<b>415,28</b>	-
994	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
997	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
998	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
999	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1000	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1001	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1002	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1003	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1004	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1005	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1006	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1007	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1008	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1009	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1010	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1011	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1012	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1013	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1014	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1015	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1016	8a/511	1	11,30	11,30	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	11,30	-	11,30	-
1017	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1018	8a/511	1	11,71	11,71	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	11,71	-	11,71	-
1019	8a/511	1	11,71	11,71	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	11,71	-	11,71	-
1020	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-
1021	8a/511	1	12,11	12,11	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,11	-	12,11	-

**Update und Überarbeitung der Datenbank für das in  
die Schachtanlage ASSE II eingelangerte  
Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)**

Projekt	PSP-Element	Funktion / Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNN	NNNAANN	AAANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 11



**BUNDESGESellschaft  
FÜR ENDLagerung**

Chargen-Nr.	ELK	Anzahl Gebinde	Differenz V1-V2: KBS pro Charge [g]	Differenz V1-V2: KBS pro Gebinde [g]	Urananreicherungs-kategorie Charge V1	Urananreicherungs-kategorie Charge V2	Urananreicherungs-kategorie Gebinde V2	Urananreicherungs-kategorie Gebinde V2	Masse KBS pro Charge V1 [g]	Masse KBS pro Charge V2 [g]	Masse KBS pro Gebinde V1 [g]	Masse KBS pro Gebinde V2 [g]
1173	8a/511	1	3,76	3,76	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	3,76	-	3,76	-
1174	8a/511	1	3,76	3,76	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	3,76	-	3,76	-
1175	8a/511	1	3,76	3,76	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	3,76	-	3,76	-
1179	8a/511	1	6,44	6,44	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	6,44	-	6,44	-
1180	8a/511	1	6,44	6,44	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	6,44	-	6,44	-
1181	8a/511	1	6,44	6,44	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	6,44	-	6,44	-
1182	8a/511	1	6,44	6,44	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	6,44	-	6,44	-
1183	8a/511	1	6,44	6,44	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	6,44	-	6,44	-
1184	8a/511	1	6,44	6,44	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	6,44	-	6,44	-
2191	6/750	5	11,86	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	11,86	-	-	-
2204	6/750	4	8,57	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	8,57	-	-	-
2210	6/750	10	14,90	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	14,90	-	-	-
2224	6/750	5	-	4,10	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	20,51	20,51	4,10	-
2271	6/750	10	14,83	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	14,83	-	-	-
2278	6/750	10	14,96	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	14,96	-	-	-
2279	6/750	9	13,26	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	13,26	-	-	-
2291	6/750	9	14,84	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	14,84	-	-	-
2342	6/750	6	10,14	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	10,14	-	-	-
2354	6/750	11	13,25	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	13,25	-	-	-
2357	6/750	12	14,38	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	14,38	-	-	-
2364	6/750	10	12,77	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,77	-	-	-
2463	2/750 NA2	5	5,22	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	5,22	-	-	-
2524	6/750	10	1,28	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	1,28	-	-	-
2540	2/750 NA2	7	7,57	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	7,57	-	-	-
2672	6/750	9	9,08	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	9,08	-	-	-
2694	6/750	12	6,08	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	6,08	-	-	-
2714	6/750	10	9,08	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	9,08	-	-	-
2724	6/750	10	6,20	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	6,20	-	-	-

<b>Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachtanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)</b>												
Projekt	PSP-Element		Funktion / Thema		Komponente		Baugruppe		Aufgabe		Lfd. Nr.	
MAAN	NNNNNNNN		NNAAANN		AAANNA		AANN		AAAA		AA	
9A	25110000								MAM		RB 0007	
											Rev 00	
Blatt: 12											 <b>BUNDESGESellschaft</b> FÜR ENDLAGERUNG	

Chargen-Nr.	ELK	Anzahl Gebinde	Differenz V1-V2: KBS pro Charge [g]	Differenz V1-V2: KBS pro Gebinde [g]	Urananreicherungs-kategorie Charge V1	Urananreicherungs-kategorie Charge V2	Urananreicherungs-kategorie Gebinde V2	Urananreicherungs-kategorie Gebinde V2	Masse KBS pro Charge V1 [g]	Masse KBS pro Charge V2 [g]	Masse KBS pro Gebinde V1 [g]	Masse KBS pro Gebinde V2 [g]
2727	6/750	12	12,10	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,10	-	-	-
2729	6/750	10	10,09	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	10,09	-	-	-
2730	6/750	12	11,21	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	11,21	-	-	-
2731	6/750	11	11,10	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	11,10	-	-	-
2772	7/750	12	3,28	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	3,28	-	-	-
2824	2/750 NA2	4	3,02	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	3,02	-	-	-
2838	2/750 NA2	3	2,04	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	2,04	-	-	-
2843	2/750 NA2	8	8,80	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	8,80	-	-	-
2885	7/750	20	11,27	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	11,27	-	-	-
4122	8/750	7	13,21	1,89	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	13,21	-	1,89	-
4129	8/750	5	14,25	2,85	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	14,25	-	2,85	-
4144	11/750	17	11,18	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	11,18	-	-	-
4148	11/750	6	3,95	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	3,95	-	-	-
4158	11/750	7	10,78	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	10,78	-	-	-
4167	5/750	6	9,24	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	9,24	-	-	-
4337	8/750	2	10,74	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	10,74	-	-	-
4367	11/750	3	9,97	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	9,97	-	-	-
4394	11/750	3	-	10,44	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	31,33	31,33	10,44	-
4450	11/750	3	11,50	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	11,50	-	-	-
4508	11/750	2	12,92	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,92	-	-	-
4546	12/750	2	12,91	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	12,91	-	-	-
4561	12/750	12	10,76	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	10,76	-	-	-
4562	12/750	5	13,45	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	13,45	-	-	-
4695	12/750	6	-	4,03	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	24,18	24,18	4,03	-
4696	12/750	6	-	4,03	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	24,18	24,18	4,03	-
4702	11/750	1	5,78	5,78	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	5,78	-	5,78	-
4703	11/750	9	-	5,78	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	52,00	52,00	5,78	-

<b>Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachtanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)</b>												
Projekt	PSP-Element	Funktion / Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev				
9A	25110000	NNNNNNNNN	NNAAANN	AAANN	AAAA	AA	NNNN	NN				
					MAM	RB	0007	00				
									Blatt: 13			
									 <b>BUNDESGESellschaft</b> <b>FÜR ENDLagerung</b>			

Chargen-Nr.	ELK	Anzahl Gebinde	Differenz V1-V2: KBS pro Charge [g]	Differenz V1-V2: KBS pro Gebinde [g]	Urananreicherungs-kategorie Charge V1	Urananreicherungs-kategorie Charge V2	Urananreicherungs-kategorie Gebinde V2	Urananreicherungs-kategorie Gebinde V2	Masse KBS pro Charge V1 [g]	Masse KBS pro Charge V2 [g]	Masse KBS pro Gebinde V1 [g]	Masse KBS pro Gebinde V2 [g]
4704	11/750	2	11,55	5,78	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	11,55	-	5,78	-
4709	11/750	6	-	6,45	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	38,69	38,69	6,45	-
4710	11/750	10	4,03	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	4,03	-	-	-
4711	11/750	2	0,81	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	0,81	-	-	-
4906	2/750	5	8,56	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	8,56	-	-	-
4925	2/750	8	13,69	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	13,69	-	-	-
4946	2/750	4	13,20	-	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	13,20	-	-	-
7107	12/750	15	0,05	0,00	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	0,05	-	0,00	-
12208	10/750	5	4,84	0,97	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	Unat/Uabg	4,84	-	0,97	-

<b>Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachtanlage ASSE II eingelangerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)</b>									
Projekt	PSP-Element	Funktion / Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev	
MAAN	NNNNNNNN	NNAAANN	AAANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	
									Blatt: 14
									 <b>BUNDESGESSELLSCHAFT</b> FÜR ENDLAGERUNG

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 15
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

In [2] erfolgte zudem bezüglich der Mengenabschätzung von angereichertem Uran die Auswertung für zwei verschiedene Werte des effektiven Verhältnisses  $\alpha$  der Stoffmengenanteile von U-235 und U-238 in Natururan. Neben dem „genauen“ Verhältnis von  $\alpha = 0,007257$  wurde auch ein gegenüber diesem Verhältnis um 2 % erhöhter Wert ( $\alpha_{LEU} = 0,007402$ ) zugrunde gelegt, um vorhandene Ungewissheiten bzgl. möglicher Isotopenhäufigkeitsschwankungen und Messungenauigkeiten in geeigneter Weise berücksichtigen zu können. Chargen bzw. Gebinde, deren Stoffmengenanteil an U-235 bis 2 % nur geringfügig über dem in Natururan liegt, werden somit nicht als Abfalleinheiten betrachtet, die angereichertes Uran und damit ggf. Kernbrennstoff enthalten.

Durch Anwendung des erhöhten Verhältnisses  $\alpha_{LEU} = 0,007402$  reduziert sich die berechnete Masse von  $U_{LEU}$  um ca. 95 %, da hierdurch die bestehenden Ungewissheiten in der Datenbasis, welche zu einer signifikanten Überschätzung der Menge an angereichertem Uran führen, vermieden werden.

Der Abgleich mit der Dokumentation zu den Anreicherungsgraden (Defizit D-3) zeigt weiterhin, dass auch Chargen, welche rechnerisch vom natürlichen Verhältnis  $\alpha$  um bis zu 5 % abweichen, mit einem natürlichen Isotopenverhältnis von 0,72 % in die ASSEKAT übertragen wurden (mittels Festlegung durch Berechnungsroutine und/oder aufgrund der Angaben in der Originaldokumentation). Nachweislich, d. h. auf Basis der Originaldokumentation, enthalten die Chargen bzw. Gebinde erst ab einem errechneten Verhältnis von  $\alpha_{LEU} = 0,007741$  niedrig angereichertes Uran. Die hierunter fallenden vier Chargen sind der WAK-Kampagne zugeordnet, welche einen Anreicherungsgrad von 0,76 % unterstellt (s. Tabelle 5).

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Bandbreiten, unter welchen Chargen bzw. Gebinde nicht als angereichertes Uran ausgegeben werden, sind in Tabelle 2 enthalten. Analog zu einer Erhöhung der  $\alpha$ -Werte wurde auch eine Verringerung betrachtet, wonach geprüft wird, ab welchem Verhältnis  $\alpha_{abg}$  der Anteil von abgereichertem Uran zugunsten von natürlichem Uran abnimmt. Die Masse von HEU wird durch die Bandbreiten nicht beeinflusst.

Tabelle 2: Auswirkung unterschiedlicher Bandbreiten natürlicher Verhältnisse der Stoffmengenanteile von U-235 und U-238 in Natururan auf die berechneten Massen von  $U_{LEU}$ ,  $U_{HEU}$ ,  $U_{nat}$  und  $U_{abg}$

$\alpha_{abg}$ (0,007257 - $\alpha_{abg}$ )	$\alpha_{LEU}$ (0,007257 + $\alpha_{LEU}$ )	Masse $U_{LEU}$ [g]	Masse $U_{HEU}$ [g]	Masse $U_{nat}$ [g]	Masse $U_{abg}$ [g]
0 %	0 %	80.515.923,95	407,74	-	23.129.617,74
0 %	2 %	3.316.485,57	407,74	77.199.438,38	23.129.617,74
2 %	2 %	3.316.485,57	407,74	77.201.456,91	23.129.617,74
2,5 %	2 %	3.316.485,57	407,74	77.199.438,38	23.129.617,74
3 %	2 %	3.316.485,57	407,74	77.201.456,91	23.127.599,21
5 %	2 %	3.316.485,57	407,74	77.201.456,91	23.127.599,21

### 6.3 Implementierung in VBA

Der VBA-Code gem. [2] wurde mit der unter Kapitel 6.2 beschriebenen Änderung übernommen und das Modul als Ergebnistabelle „Kernmaterialbestand“ in die ASSEKAT 11.0 integriert (s. Abbildung 2).

Das Modul berechnet zum einen die Anreicherungsgrade gem. IAEA-Definition, wonach die Summe der Isotope U-233 und U-235 mit der Summe aller Uranisotope (Summe aus U-232, U-233, U-234, U-235, U-236 und U-238) ins Verhältnis gesetzt wird. Zusätzlich ist auch die Berechnung nach Euratom möglich, welche das Massenverhältnis von U-233 und U-235 zur Summe von U-233, U-235 und U-238 für die Bestimmung des Anreicherungsgrades zugrunde legt.

Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)									 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Im PAI-Formular kann ausgewählt werden, welche Berechnungsoption zugrunde gelegt werden soll. Zusätzlich wurde im PAI-Formular die Möglichkeit implementiert, die Verhältnisse  $\alpha_{abg}$  und  $\alpha_{LEU}$  zu variieren. Die Standardeinstellung ist  $\alpha_{abg} = 2 \%$  und  $\alpha_{LEU} = 2 \%$  (s. Abbildung 1).



**Berechnung Anreicherungsgrad**

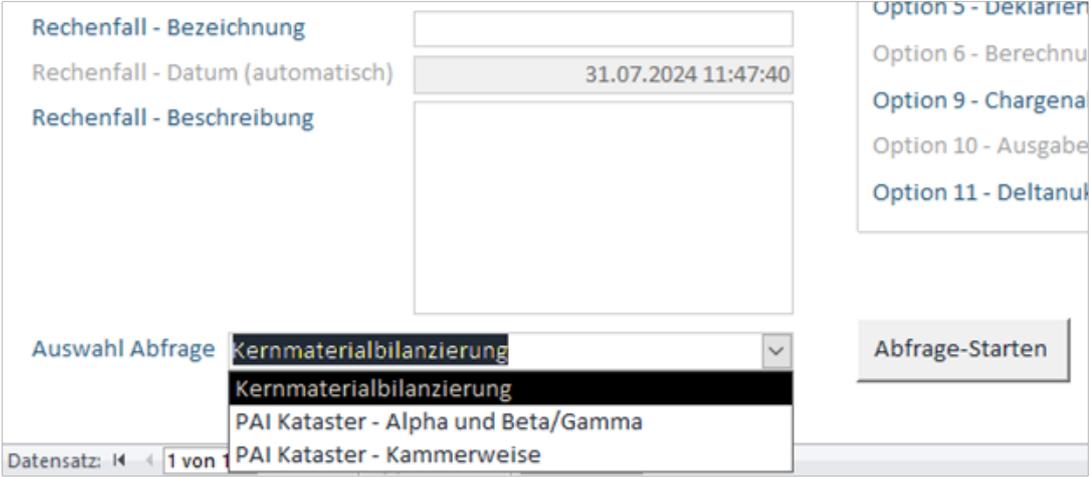
- Gesamtmasse aller Uranisotope
- Definition gem. EURATOM

Korrekturfaktor Alpha-Wert (Uabg)

Korrekturfaktor Alpha-Wert (LEU)

Abbildung 1: Oberfläche des PAI-Formulars mit Auswahlmöglichkeiten zur Berechnung des Anreicherungsgrades

Basierend auf der Ergebnistabelle „Kernmaterialbestand“ wurde in das PAI-Formular zudem die Abfrage „Kernmaterialbilanzierung“ integriert, welche es unter Zuhilfenahme eines VBA-Codes in dem neu implementierten Modul „PAI Kernmaterialbilanzierung“ ermöglicht, die Kernmaterialmassen (Pu, U, Th) kammerweise zu dem berechneten Stichtag auf Basis der Ergebnistabelle „ISS Kataster“ zu bilanzieren. Hierbei wird auch zwischen Thorium aus Glühstrümpfen unterschieden (vgl. [2]). Die Deltanuklide (s. Kapitel 12.5) werden in der Bilanzierung nicht berücksichtigt.



Rechenfall - Bezeichnung

Rechenfall - Datum (automatisch) 31.07.2024 11:47:40

Rechenfall - Beschreibung

Auswahl Abfrage: Kernmaterialbilanzierung

- Kernmaterialbilanzierung
- PAI Kataster - Alpha und Beta/Gamma
- PAI Kataster - Kammerweise

Option 5 - Deklarieren

Option 6 - Berechnung

Option 9 - Chargena

Option 10 - Ausgabe

Option 11 - Deltanuk

Abfrage-Starten

Datensatz: 1 von 1

Abbildung 2: Oberfläche des PAI-Formulars mit Auswahlmöglichkeit der Abfrage zur Kernmaterialbilanzierung

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 17
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

## 7 Behebung Defizit D-3: Dokumentation der verfügbaren Angaben zu den Anreicherungsgraden

### 7.1 Beschreibung des Defizites

In der Datenbank sind nur wenige Informationen zu den Isotopenverhältnissen von U-235 („Anreicherungsgrade“) gem. Angabe der Ablieferer hinterlegt [4]. Vorhandene Informationen befinden sich zum Teil in Bemerkungsfeldern von Datentabellen und können bei der Berechnung mittels PAI nicht berücksichtigt werden. In [1] wird aufgezeigt, dass die Angaben in der Datentabelle „Kernbrennstoffe-mod“ im Hinblick auf U-235 kaum Bezug zu den Originaldokumenten mit Informationen über den Anreicherungsgrad aufweisen.

Der für betroffene Chargen fehlende Bezug zur Originaldokumentation wirkt sich somit auch auf die Ergebnisse der Berechnung des Inventars der kernbrennstoffrelevanten Isotope gem. der Kernbrennstoffdefinition nach § 2 AtG aus, da fehlende Daten in PAI durch pauschale Annahmen und Nuklidvektoren ersetzt werden (s. Defizit D-1 in Kapitel 6).

In [1] wird daher empfohlen, eine Dokumentation der verfügbaren Angaben zu den Anreicherungsgraden und Massenangaben zu U-235 und eine entsprechende Implementierung in der ASSEKAT durchzuführen, unter Berücksichtigung weiterer bestehender Empfehlungen (insbesondere in [4]) sowie der Einlagerungsdokumentation (Begleitlisten, Fasskontrollbücher, Kernbrennstoffmeldungen, Materialbegleitscheine). Die Art und der Bestand an Originaldokumenten, die zum Zeitpunkt der Einlagerung der Abfälle erstellt wurden, wird in [5] beschrieben.

### 7.2 Abgleich mit den Originaldokumenten

Folgende Originaldokumente aus [5] wurden untersucht und darin enthaltene Informationen dokumentiert.

Die **Begleitlisten** enthalten nur für wenige Chargen konkrete Angaben zu Anreicherungsgraden (s. Tabelle 3).

Tabelle 3 Informationen zu Anreicherungsgraden in den Begleitlisten

ID-Nr.	Chargen-Nr.	Anr. [%]	Hinweis gem. Begleitliste	Berücksichtigung der Hinweise in der ASSEKAT 10.0
2	2	11 %	U-235 aus USA	Die Massenangaben aus „Kernbrennstoffe-mod“ werden verwendet, um die Aktivitäten für U-233, U-235 und U-238 gem. Begleitliste zu berechnen.
15	26 27 28	k. A.	U-235 in Form von UO <sub>2</sub>	Charge 28 enthält lt. Begleitliste 15 kein Kernbrennstoff und ist deshalb in Kernbrennstoffe-mod nicht aufgeführt. Die Massenangabe aus „Kernbrennstoffe-mod“ wird verwendet, um die U-234 und U-238-Massen gem. Begleitliste sowie die Aktivitäten der 3 Isotope zum Stichtag zu berechnen:
16	29 30 31	k. A.	U-235 in Spaltkammern; U-235 in Form von UO <sub>2</sub>	Masse U-238 = Masse U-235 * (0,946 / 0,054). Die U-234-Masse ist eine grobe Schätzung aus: (U-235+U-238) * 0,00075
17	32 33	5,1 %	U-235 in Form von UO <sub>2</sub> -Pellets, unbestrahlt	Die Masse Uran von 17,63 g berechnet sich aus der Anzahl der Gebinde (=2) * 8,815 g, die Umrechnung dieser Masse U in U-234/235/238-Massen erfolgt dann anhand der natürlichen Isotopenverhältnisse. Diese dienen der Aktivitätsberechnung zum Stichtag.
2377	14269	< 7 %	max. 10 g UO <sub>2</sub>	Die Massenangabe aus „Kernbrennstoffe-mod“ wird verwendet, um die U-234 und U238-Massen sowie die Aktivitäten der 3 Isotope zum Stichtag zu berechnen.
3025	19557	Lieferschein-Nr. 24/78: • 1,9 %	UO <sub>2</sub> -Pellets, unbestrahlt, versch. Anreicherungsgrade, s.	

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 18
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

ID-Nr.	Chargen-Nr.	Anr. [%]	Hinweis gem. Begleitliste	Berücksichtigung der Hinweise in der ASSEKAT 10.0
		<ul style="list-style-type: none"> <li>2,4 %</li> <li>3,02 %</li> <li>2,24 %</li> <li>7,0124 %</li> <li>3,1 %</li> </ul>	Nuklearlieferschein Nr. 24/78	
3048	19732 19733 20243	< 0,7 %		Chargen nicht in „Kernbrennstoffe-mod“ enthalten. Im VBA-Code wurden 50 g Uran / Gebinde angesetzt und daraus die U-Masse/Charge berechnet. Die Umrechnung dieser Masse U in U-234/235/238-Massen erfolgt dann anhand der natürlichen Isotopenverhältnisse. Diese dienen der Aktivitätsberechnung zum Stichtag.
3049	19734 19735 19740 19741 19742	< 0,7 %		Vier Chargen, welche nicht in „Kernbrennstoffe-mod“ enthalten sind: Im VBA-Code wurden 50 g Uran / Gebinde angesetzt und daraus die U-Masse/Charge berechnet. Die Umrechnung dieser Masse U in U-234/235/238-Massen erfolgt dann anhand der natürlichen Isotopenverhältnisse. Diese dienen der Aktivitätsberechnung zum Stichtag. Eine Charge in „Kernbrennstoffe-mod“ mit U-Gesamtmasse dient der Umrechnung in die U-Isotope.

Die **Fasskontrollbücher** enthalten keine Angaben zu An- oder Abreicherungsgraden, jedoch Massenangaben zu U-gesamt und U-235, aufsummiert über mehrere Chargen (sog. „Roteinträge“). Da bislang keine zusammengefasste Tabelle zu den Fasskontrollbüchern vorliegt, wurden die in den Einzeleinträgen enthaltenen Informationen zu U-nat, U-235 (und Plutoniumisotopen) in Anhang 1 dokumentiert. Hierbei konnte festgestellt werden, dass Abweichungen zwischen den „Roteinträgen“ und der Tabelle „Kernbrennstoffe-mod“ im Wesentlichen aus nachvollziehbaren Anpassungen aufgrund der Empfehlungen des TÜV Süd [4] resultieren. Sonstige kleinere Abweichungen – z. B. aufgrund von Zahlendrehern – wurden korrigiert, in die Datentabelle „Kernbrennstoffe-mod“ der ASSEKAT 11.0 übernommen und dort entsprechend dokumentiert.

Die **Fragebögen** enthalten nur für Chargen des Ablieferers KRT (ID-Nr. 294) konkrete Angaben zu An- und Abreicherungsgraden sowie fassweise Massenangaben zu Uranoxid und U-235 auf den Lieferscheinen 7/67, 7a/68 und 8/68. Andere Ablieferer wie FRM und NUKEM geben Spuren von U-235 bzw. Hinweise zu abgereichertem Uran ohne weitere Massenangaben an. Die Angaben sind in Tabelle 4 dokumentiert, Abweichungen zur Tabelle „Kernbrennstoffe-mod“ sind rot markiert.

Tabelle 4 Informationen zu Isotopenverhältnissen in Massen-% bzw. zu U-235-Massen in den Fragebögen (**rot**: Abweichung zu „Kernbrennstoffe-mod“)

ID-Nr.	Chargen-Nr.	Masse UO <sub>2</sub> [kg]	Anr. [%]	Abr. [%]	Masse U-235 [g]	Hinweis	Berücksichtigung der Hinweise in der ASSEKAT 10.0
NN		4,717		0,4	17	Nachtrag zu ID-Nr. 294	ob Übernahme in ASSEKAT erfolgt ist, ist nicht nachvollziehbar
294	1292	0,389	1,68		<b>6</b>	Transport II	Abweichung: U-235 mit 0,88 g / Fass angegeben und 10,56 g in ASSEKAT übertragen,
294		4,952	2,34		<b>102</b>		

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 19
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

ID-Nr.	Chargen-Nr.	Masse UO <sub>2</sub> [kg]	Anr. [%]	Abr. [%]	Masse U-235 [g]	Hinweis	Berücksichtigung der Hinweise in der ASSEKAT 10.0
							Anreicherungsfaktor wurde nicht berücksichtigt
294	1290	487,516		0,22	945	Transport I	Abweichung: U-235 mit 1516,75 g angegeben und so in ASSEKAT übertragen (ChNr 1290), mit mittl. Abr.-Faktor von 0,308 % gerechnet
294		69,913		0,4	246		
294	1291	k. A.	k. A.	k. A.	663,77	Transport I; Fassweise U-235-Masse angegeben	Die Aktivitätsberechnung erfolgt auf Basis der Angaben in „Kernbrennstoffe-mod“
294	1293	k. A.	k. A.	k. A.	453,17	Transport II; Fassweise U-235-Masse angegeben	
294	1294	k. A.	k. A.	k. A.	33,44		
294	1295	k. A.	k. A.	k. A.	51,04		
326		k. A.	k. A.	k. A.		Fässer mit nat. und abger. Uran	<p>die Massenberechnung von U-235 erfolgt mit Hilfe von U-nat unter folgender Annahme:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Bq U-nat entspricht 1,4156E-07 g U-235, wenn die Uran-Töchter auch mit einem Teil der mittleren Aktivität berücksichtigt werden (<i>Anwendung, wenn Option 9 im PAI-Formular aktiviert</i>)</li> <li>• 1 Bq U-nat entspricht 2,8138E-07 g U-235, wenn mittlere Aktivität nur auf die Uran-Isotope umgerechnet wird (<i>Anwendung, wenn Option 9 im PAI-Formular deaktiviert</i>)</li> </ul> <p>Die Chargenaktivität wurde hierbei bereits unter Berücksichtigung der Gebindezahl hochgerechnet.</p>

Die **Kernbrennstoffmeldungen** enthalten Massenangaben zu Uran („U“, „U-nat“, „UO<sub>2</sub>“) und U-235, welche für Chargen aus den Jahren 1977 und 1978 aufgeführt werden. Ein Abgleich mit den Massenangaben in „Kernbrennstoffe-mod“ wurde bereits im Rahmen von [2] durchgeführt. Für den Ablieferer GfK/KfK konnte jedoch nicht geklärt werden, ob die in den Kernbrennstoffmeldungen angegebenen U-235-Massen die U-235-Anteile in den angegebenen U-nat-Massen einschließen. Daher werden die für eine Charge deklarierten Masseangaben zu U-235 und U-nat aufsummiert und anschließend mit dem zugehörigen Uran-Nuklidvektor gem. „ISS Vektoren Uran“ auf die einzelnen Uranisotope umgelegt [9]. In Abhängigkeit von der WAK-Kampagne, welche die zu verwendenden Plutonium- und Uran-Vektoren vorgibt, liegt Uran somit entweder ab- oder angereichert vor (s. Tabelle 5).

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 20
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Tabelle 5: WAK-Kampagnen und festgelegte U-235-Massenverhältnisse

Nr. der Kampagne	Kampagne	U-235 [Massen-%]		Berechnungsroutine
1	Vorbetriebsphase	k.A. ( <i>Hinweis: Kampagne wird nicht verwendet</i> )		FZK_LAW_0a, FZK_LAW_0b, FZK_MAW_0a, FZK_MAW_0b, FZK_MAW_0c
2	Uranbetrieb	0,51	abgereichert	
3	Alkem-Schrott	0,72	natürliches Verhältnis ( <i>Hinweis: Kampagne wird nicht verwendet</i> )	
4	FR2	0,76	angereichert	
5	VAK-1	1,2	angereichert	
6	KWO-1	1,42	angereichert	
7	MZFR-1	0,37	abgereichert	
8	Pu-Reinigung	0,37	abgereichert	
9	HDR	2,95	angereichert	
10	VAK-2	1,32	angereichert	
11	MZFR-2	0,32	abgereichert	
12	KWO-2	0,92	angereichert	
13	KRB	0,97	angereichert	
14	KWO-3	0,94	angereichert	
15	MZFR-3	0,28	abgereichert	
16	Dekophase	0,28	abgereichert	

Die auf Basis der ASSEKAT berechneten Anreicherungsgrade weichen somit, bedingt durch die Mittelung über eine Charge, von den Originalangaben ab. Die Kernbrennstoffmeldungen liefern somit wichtige Detailinformationen im Rahmen der Ergebnisauswertung von kernbrennstoffhaltigen Chargen. Gleiches gilt für die **Materialbegleitscheine**.

Auch die **Berechnungsroutinen** zeigen auf, welche Isotopenverhältnisse für die Chargen angenommen wurden. Diese wurden daher ebenfalls mit den Angaben in den Begleitlisten und den Fragebögen abgeglichen. Mit Behebung des Defizites D-23 und der zugehörigen Dokumentation der Berechnungsroutinen (s. Kapitel 11) konnte die bisherige Berücksichtigung der Angaben zu Anreicherungsgraden bzw. den daraus abgeleiteten U-235-Massen untersucht werden.

In den folgenden Berechnungsroutinen in Tabelle 6 wird nicht von einem natürlichen Masseverhältnis von U-235 im Isotopengemisch ausgegangen:

Tabelle 6: Berechnungsroutinen, welche von der natürlichen Isotopenzusammensetzung abweichen

Berechnungsroutine	U-235 [Massen-%]	
FRM_3a	90 %	angereichert <i>Hinweis: Umsetzung in Routine ist auf Basis der derzeit verfügbaren Originalunterlagen zum Ablieferer nicht nachvollziehbar.</i>
GKSS_2a	5-6 %	angereichert
GKSS_2b		
GKSS_2c		
KRT_2a	0,3 %	abgereichert, vgl. jedoch Defizit D-28 zur Differenzierung
NUK_4c	0,3 %	abgereichert
RBU_1a	2-3 % Ausnahme Chargennr. 20110: 0,6 % abgereichert	angereichert

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 21

Berechnungsroutine	U-235 [Massen-%]
RBU_4b	0,3 % abgereichert

Im Ergebnis ist hierzu zudem festzustellen, dass die Originalangaben in der Tabelle „Kernbrennstoffe-mod“ nicht immer zur Aktivitätsberechnung verwendet werden. Dies wirkt sich z. T. überschätzend auf das U-235-Inventar aus und kann sich auch auf die Massenverhältnisse auswirken:

Die 1.669 Chargen in der Tabelle „Kernbrennstoffe-mod“ weisen gem. der Originaldokumentation ein U-235-Inventar von ca. 30 kg auf. Werden die für diese Chargen berechneten Aktivitäten aus „ISS Kataster“ zum Stichtag 01.01.1980 in Massen umgerechnet, so ergeben sich hieraus ca. 78 kg. Der weitaus größte Anteil (ca. 61 %) liegt im Wesentlichen darin begründet, dass

- ca. 16 kg U-235 aus der Gesamtmenge Uran des Ablieferers NUKEM (ID-Nr. 3049) in der Berechnungsroutine „NUK\_3b“ anhand natürlicher Massenverhältnisse berechnet werden,
- ca. 24 kg U-235 zusätzlich aus den von den natürlichen Massenverhältnissen abweichenden Werten stammen, welche aufgrund fehlender Informationen gem. Tabelle 5 angenommen wurden,
- ca. 6 kg U-235 auf Basis der Angabe zu abgereicherten Uran für ID-Nr. 2380 berechnet werden und
- ca. 1,6 kg U-235 des Ablieferers KFA sich aus den Angaben zur Uranmasse und der Annahme natürlicher Massenverhältnisse errechnen (ID-Nr. 2144 und 2158).

### 7.3 Anpassungen in der Datentabelle „Kernbrennstoffe-mod“

Basierend auf den Prüfergebnissen wurden die Informationen zu Massenanteilen des U-235-Isotopes in einem neuen Feld „Isotopenverhältnis [%]“ in der Datentabelle „Kernbrennstoffe-mod“ dokumentiert. Das Feld „Hinweis zu Isotopenverhältnis“ gibt an, woher die Angabe stammt.

Sollten noch weitere Erkenntnisse aus Originalunterlagen erlangt werden, können diese entweder in den betreffenden Berechnungsroutinen der jeweiligen Chargen oder direkt in der Datentabelle „Kernbrennstoffe-mod“ übernommen werden.

Mit dieser Anpassung können auch die Ergebnisse des Berechnungsmoduls zur Bestimmung des Kernmaterials (Defizit D-1, s. Kapitel 6) im Hinblick auf die berechneten Isotopenverhältnisse für Chargen der Tabelle „Kernbrennstoffe-mod“ nachvollzogen werden.

## 8 Behebung Defizit D-11: Hochrechnung der Dosisleistungen

### 8.1 Beschreibung des Defizites

Gegenwärtig liegen in der ASSEKAT nur zum Zeitpunkt der Einlagerung ermittelte Dosisleistungen für einen Teil der Chargen vor. Eine Hochrechnung der Dosisleistung auf den Rückholzeitraum, an dem gammastrahlende dosisleistungsrelevante Nuklide wie Co-60 erheblich und Cs-137 deutlich abgeklungen sind und ursprünglich weniger dosisleistungsrelevante Nuklide mit weicheren Gammalinien bzw. geringeren Emissionswahrscheinlichkeiten dominieren, ist gegenwärtig nicht unmittelbar aus der ASSEKAT verfügbar [8].

Eine Erweiterung der ASSEKAT zur Auswertung der (mittleren) Dosisleistung für LAW, MAW und verlorene Betonabschirmungen je Einlagerungskammer (ELK) liegt derzeit nicht vor. Notwendige Eingabedaten zur Berechnung/Abschätzung der Dosisleistung fehlen bzw. sind unvollständig (z. B. Behälterzustand, Abschirmungen) [1].

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 22

## 8.2 Vervollständigung fehlender Daten zur ODL eingelagerter Gebinde

Von den 19.081 Chargen in der ASSEKAT besitzen nur 6.798 Chargen einen Eintrag der Bruttoabfallmasse, kurz Masse. Bei den anderen 12.283 Chargen liegt keine Massenangabe vor. Da die Masse aber aufgrund der Selbstabschirmung der radioaktiven Strahlung die Abschätzung der zu erwartenden Ortsdosisleistung (ODL) beeinflusst, müssen die Lücken in der Massenspalte der Datentabelle „Chargen-mod“ in der ASSEKAT zuerst durch geeignete, möglichst sinnvolle und realitätsnahe Werte aufgefüllt, d. h. imputiert, werden, bevor die Datenlücken der ODL imputiert werden können.

### 8.2.1 ML-Massenangaben

Die fehlenden Masseangaben können zum einen mit heuristischen Methoden (d. h. unter Einbeziehung weiterer Informationen aus der ASSEKAT) aufgefüllt werden. Neben der Anwendung simpler heuristischer Methoden, wie der Imputation der fehlenden Werte mit dem Medianwert oder Mittelwerte der Gebindemassen oder komplizierterer heuristischer Methoden unter Zuhilfenahme von Informationen aus weiteren Spalten aus der ASSEKAT, besteht die Möglichkeit, die fehlenden Werte mit trainierten Machine Learning (ML) Algorithmen vorherzusagen. Ein solches Vorgehen soll hier beschrieben, durchgeführt und bewertet werden. Die dafür notwendigen Datenverarbeitungs- und ML-Algorithmustrainingsschritte und die daraus resultierenden Einsichten werden nachfolgend aufgezeigt. Zusätzlich wird die Güte (also die mittlere absolute Abweichung) des ML-Ansatzes mit der Güte der heuristischen Ansätze verglichen und der Ansatz mit der geringsten mittleren absoluten Abweichung für die Imputation der Massewerte ausgewählt und verwendet.

#### Feature-Auswahl und Feature Engineering

Die wichtigsten Features, also die Spalten der ASSEKAT, die mit der Zielgröße, der Bruttogebindemasse, zusammenhängen, sind

- die Verpackungsart (VerpGr\_V),
- das Nettovolumen (NettoVol\_V),
- das Bruttovolumen (BruttoVol\_V),
- das Luftvolumen (LuftVol\_V),
- das Gewicht des Eisens (Eisen\_V) und des Bleis (Blei\_V),
- das Beton- und Zementvolumen (BetonVol\_V und Zement\_V),
- die Volumina der Zuschläge Normal- und Schwebbeton (ZuschlägeNB\_V, ZuschlägeSB\_V) und
- die Felder „Abfallart1“ und „Behandlung1“.

Diese Features weisen, ebenfalls wie die Zielgröße, Datenlücken auf, die für das Training von ML-Algorithmen geschlossen werden müssen. Außerdem können aus diesen Features weitere Features durch sogenanntes Feature Engineering berechnet und erzeugt werden, dessen Verwendung die Berechnungen mit dem ML-Ansatz verbessern können.

Das Feature „Abfallart1“ besitzt 611 verschiedene Einträge für die 19.081 Chargen. Diese Einträge können für die weitere Verarbeitung in 71 Überkategorien, im Folgenden als „Abfallart neu“ bezeichnet, gegliedert werden. Diesen Überkategorien werden repräsentative Dichtewerte zugeordnet (s. Tabelle 7) und mit 90 % des Nettovolumens multipliziert. Die resultierenden Werte stellen die Feature Engineering Spalte der Abfallartmasse dar. Es wurde mit 90 % des Nettovolumens multipliziert, da angenommen wird, dass im Sinne der bestmöglichen Volumenausnutzung der Fässer nur 10 % des Nettovolumens nicht mit Abfall, sondern mit Konditionierungsmaterial befüllt wurden.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 23
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Tabelle 7: Ableitung von Abfallmassen gem. „Katalog Abfallart“, Feld „Abfallart neu“

Abfallart neu	mittl. Dichte [kg/l]	Abfallart neu	mittl. Dichte [kg/l]	Abfallart neu	mittl. Dichte [kg/l]
-	1,5	Filterhilfsmittel/-rückstände	1,5	Papier	0,8
akt. Metall	7,874	Flüssigkeiten	1,5	Pb	11,34
Aktivkohle	0,6	Geräte	7,874	Pflanzen	0,6
Al	2,7	Glas	2,2	Pu-Abfall	19
Asbest	1,5	Graphit	2,25	PVC/Bauschutt	1,1
Asche	0,3	Gummi	0,94	Quellen	8,9
Asphalt	1,8	Harze	1,1	Ra-Abfall	7,874
Bauschutt	1,1	Herzschrittmacher	7,874	Röhren	7,874
BE	2,2	Holz	0,6	Sand	1,6
Behälter	2,2	Instrumente	7,874	Schlacke	3,5
BE-Kugeln	2,2	Isolierungen	1,5	Schlacke, Metall	3,5
Beton	2,4	Keramik	3,937	Schlämme	1,5
Bitumen	1,1	Kies	1,6	Sondenteile	7,874
Box	7,874	Konzentrat	1,5	TBP/PVC	1,1765
Dichtungen	0,94	Kunststoff/PVC	1,38	Textilien	1,5
Edelstahl	8	Kunststoff/PVC, Filter, Geräte	1,38	Th-Abfall	11,7
Elektroabfall	7,874	Laborabfall	1,5	Tierkadaver	1,5
Erde	1,6	leer	1,5	Torf	1,4
Eternit	1,85	MA	1,5	U-/Th-Abfall	15,35
Fe	7,874	MA b	1,5	U-/Th-Abfall/Al	15,35
Fe/Pb	7,874	MA nb	1,5	U-Abfall	19
Fett	0,95	Metall	7,874	U-Abfall/Al	10,85
Feuermelder	7,874	Öl	0,9	Zement	1,44
Filter	7,874	pak(etierte). Abfälle	1,5		

Hinweise:

*b: brennbar, nb: nicht brennbar*

Abfälle, für die keine Abfallart angegeben ist sowie für Mischabfälle, undefinierte Flüssigkeiten und Feststoffe wurde eine mittlere Dichte von 1,5 kg/l angesetzt.

Ähnlich wird bei der „Behandlung1“ verfahren. Bei diesem Feature häufen sich verschiedene Behandlungsangaben wie beispielsweise „betoniert“, „Beton“, „einbetoniert“ und „in Beton eingebettet“. Hier wird nach den Wortstämmen „beton“, „zement“ und „bitum“ gefiltert und diesen Datensätzen die zugehörige Dichte zugewiesen (s. Tabelle 7). Durch Multiplikation mit 10 % des Nettovolumens errechnet sich die Feature Engineering-Spalte der Konditionierungsmasse. Liegt

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 24
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

keine Beton-, Zement- oder Bitumenkonditionierung vor, werden diese Daten mit NaN-Werten (engl. *not a number*, Platzhalter für „unbekannt“) aufgefüllt, außer es sind die Behandlungsarten „keine“, „nicht verfestigt“ oder „ohne“ angegeben. In diesen Fällen wird eine 0 als Konditionierungsmasse eingefügt.

Die Spalten mit der Verpackungsart und den Überkategorien der Abfallart werden auch für das Trainieren und die spätere Vorhersage genutzt und werden (One-Hot) enkodiert, das heißt, in numerische Werte übersetzt, deren numerischer Wert aber keine Wertung enthält. Im Gegensatz dazu würden *LabelEncoder* den Kategorien Zahlenwerte zuordnen, die vom Algorithmus direkt als eine Wertigkeit der Kategorie interpretiert werden würden. Für ein solches Vorgehen gibt es aber keine Grundlage. Zusätzlich würden Encoder wie beispielsweise ein *TargetEncoder* den Kategorien Werte in Abhängigkeit der Massen (Zielspalte) zuweisen, was hier aufgrund der Aufgabenstellung vermieden werden soll.

### Datenvorbereitung für das ML-Modell

Der durch Feature Engineering erweiterte Datensatz muss für ML-Modelle in eine Menge zum Training und eine zum Testen aufgeteilt und danach die Lücken anhand der Daten aus dem Trainingsdatensatz geschlossen werden. Zum Schluss werden die Daten skaliert, da das die Vorhersage mancher ML-Algorithmen deutlich verbessert.

Die Aufteilung in Trainings- und Testdatenmenge der Daten, die einen Eintrag bei der Bruttoabfallmasse besitzen, wird zu jeweils 80 % und 20 % gewählt. Dabei wird darauf geachtet, dass diese Aufteilung stratifiziert abläuft. Das heißt, dass die Verteilung der Bruttoabfallmassen in beiden Datenmengen möglichst gleichverteilt ist.

Danach müssen alle Datenlücken des Datensatzes, der mittels Feature Engineering erweitert worden ist, geschlossen werden, bevor damit ML-Modelle trainiert werden können. Wenn bei den Beton-, Zement-, Blei-, Schwebbeton- und Normalbetonmassen durch die Ablieferer keine Angaben gemacht wurden, wird angenommen, dass diese Materialien nicht vorhanden sind. Somit werden diese Lücken mit einer 0 ersetzt, da der Datensatz andernfalls zu klein für verlässliche Vorhersagen würde. Auch wenn das Auffüllen mit Nullwerten für einen Teil der Chargen eine Abweichung von der dokumentierten Datenlage darstellt, stellt dies dennoch einen Vorteil für das Resultat des ML-Algorithmus dar, anstelle der Alternative, die Daten zu löschen.

Bei der Feature Engineering-Spalte der Konditionierungsmasse geben Werte von 0 kg an, dass kein Konditionierungsmaterial hinzugegeben worden ist. NaN-Werte geben an, dass die Masse des Konditionierungsmaterials unbekannt ist. Deshalb wird hier mit gaußverteilten Zufallszahlen aufgefüllt, die mit der Standardabweichung um den Mittelwert aus der gesamten Trainingsdatensatz-Konditionierungsmasse streuen, um der Zerklüftung des Datensatzes etwas entgegenzuwirken. Zerklüftung bedeutet hier, dass sich einige Zahlenwerte sehr oft wiederholen, siehe bspw. Peaks in Abbildung 7.

Im Anschluss können die Trainings- und Testdatenmenge skaliert werden. Dazu wurden das Minimum und das Maximum je Feature der Trainingsdatenmenge verwendet, um beide Datenmengen gleich zu skalieren.

### Identifizierung von ML-Algorithmen mit der besten Vorhersagewahrscheinlichkeit

Da erwartungsgemäß eine lineare Zunahme der Werte der vorbereiteten Features zu einer linearen Zunahme der Probenmasse führen sollte, werden unter anderem lineare ML-Regressionsmodelle getestet. Bei diesen Modellen handelt es sich um den *LinearRegressor*, *RidgeCV*, *Lasso*, *LassoCV* und den *SGDRegressor*. Zusätzlich werden noch die Modelle *KNeighborsRegressor*, *DecisionTreeRegressor*, *RandomForestRegressor*, *IsolationForest*, *SVR*, *LinearSVR*, *BernoulliRBM* und *MLPRegressor* verwendet, um Nichtlinearitäten gut fassen zu können und zudem eine

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 25

Bewertung aller gängigen, vielversprechenden Modelle durchzuführen. Alle Modelle stammen aus der python Bibliothek Scikit-Learn [12].

Diese Modelle wurden mit der Trainingsmenge trainiert (gefittet) und die resultierende Vorhersage der Bruttoabfallmasse auf die Trainingsdatenmenge mit den dazugehörigen tatsächlichen Bruttoabfallmassen verglichen. Hier könnte durch Abtrennen eines Validierungsdatensatzes von der Trainingsmenge potenziellen Overfitting, d. h. ein vollständiges „Auswendiglernen“ der zum Fitten verwendeten Daten, entgegengewirkt werden, jedoch ist der Trainingsdatensatz mit 5.438 Chargen bereits relativ klein, weshalb dem Overfitting durch die nachfolgende Kreuzvalidierung entgegengewirkt wird.

Zur Quantifizierung der Abweichung eignen sich Größen wie der MAE und RMSE. Der MAE (= *Mean Absolute Error*, oder mittlere absolute Abweichung) gibt die zu erwartende Abweichung einer Vorhersage vom tatsächlichen Wert an und RMSE (= *root mean squared error*, oder Standardabweichung) gibt das Wahrscheinlichkeitsintervall (von  $\pm$  RMSE) an, in dem 63 % der vorhergesagten Werte um den tatsächlichen Wert streuen. Die Ergebnisse für MAE und RMSE sind in der nachfolgenden Abbildung 3 gezeigt. Der MAE gibt die absolute Abweichung an, was bei niedrigen Massewerten dazu führen könnte, dass der MAE größer würde als die Massewerte. Jedoch beträgt der finale Generalisierungsfehler maximal 31,0 % in Relation zur minimalen Gebindemasse von 207 kg, was innerhalb der Erwartung aufgrund der Datenlage in der ASSEKAT liegt.

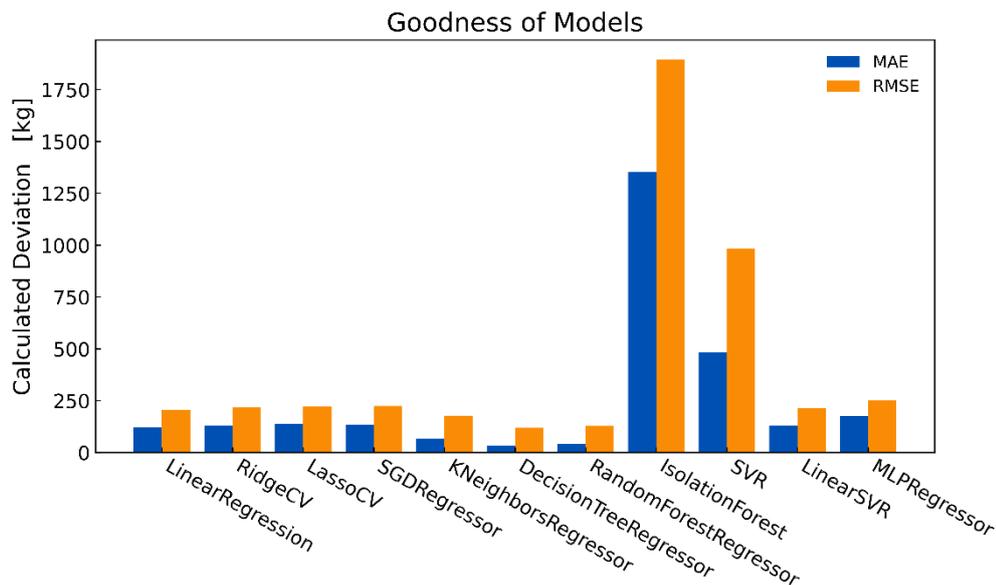


Abbildung 3: Vergleich der mittleren absoluten Abweichung (MAE) und der Standardabweichung (RMSE) der vorhergesagten Werte des Trainingsdatensatzes verschiedener ML-Algorithmen.

Hier zeigt sich, dass die drei hier am besten geeigneten ML-Modelle der *DecisionTreeRegressor* (s. Abbildung 4), der *RandomForestRegressor* und der *KNeighborsRegressor* sind.

Diese drei Modelle wurden anschließend einer Kreuzvalidierung unterzogen. Bei der Kreuzvalidierung wurde der Trainingsdatensatz in fünf gleich große Teile zerlegt und der ML-Algorithmus mit vier von diesen gefittet. Auf den übriggebliebenen Datensatz wurde eine Vorhersage der Bruttoabfallmasse durchgeführt und die Größe des RMSE bestimmt. Das hat den Vorteil, dass nun der RMSE mit einer Datenmenge bestimmt wird, die der ML-Algorithmus beim Training noch nicht gesehen hat. Dadurch wird ein Overfitting der zum Fitten verwendeten Daten verhindert, was

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 26

die generelle Robustheit der Modelle verbessert und darüber hinaus in der Regel die Vorhersage auf unbekannte Datenmengen stark verbessert.

Bei der Kreuzvalidierung liegt der *RandomForestRegressor* mit einem mittleren RMSE von 176,6 kg vor dem *DecisionTreeRegressor* mit 182,3 kg und dem *KNeighborsRegressor* mit 202,9 kg. Das bedeutet, dass der *RandomForestRegressor* bei der vorliegenden Problemstellung die beste Vorhersage erlaubt.

### Finetuning der Hyperparameter für die bestmögliche Vorhersage der Masse

Jeder ML-Algorithmus besitzt interne Parameter, die sogenannten Hyperparameter, die die Art und Weise, wie das Fitting funktioniert, beeinflussen und somit auch einen Einfluss auf die Vorhersage des Modells haben. In diesem letzten Schritt werden daher mittels GridSearch die Hyperparameter des *RandomForestRegressors* verfeinert (sog. finetuning).

Beim *RandomForestRegressor* sind die besten Hyperparameter

- max\_depth = 15,
- max\_features = 7,
- n\_estimators = 4 (Bedeutung der Hyperparameter siehe nächsten Abschnitt)

mit einem mittleren RMSE-Wert von 174,0 kg, was eine Verbesserung auf den RMSE-Wert von ca. 2,6 kg darstellt.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 27

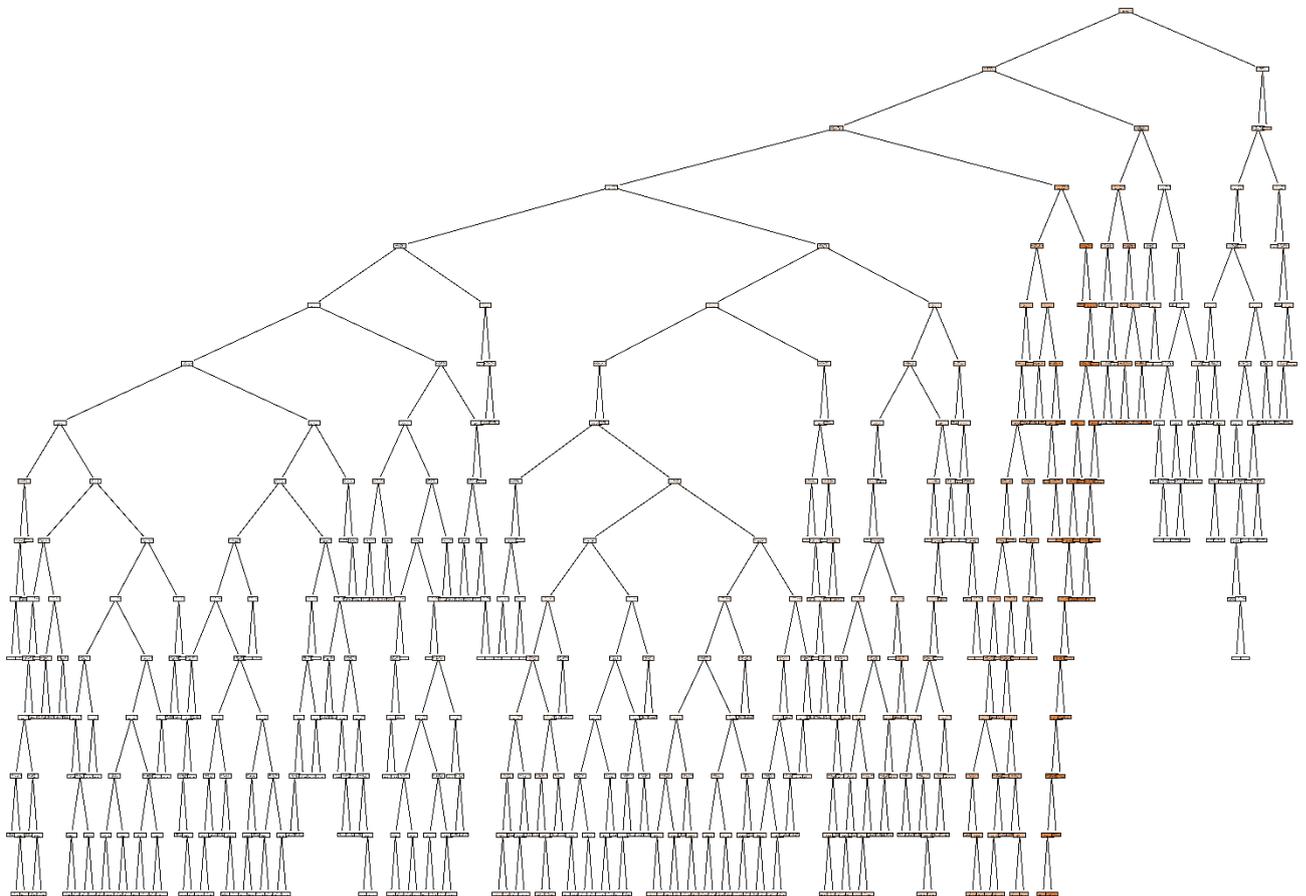


Abbildung 4: Grundsätzlicher Aufbau eines der vier *DecisionTreeRegressor*-Modelle, aus dem das finale *ML-RandomForestRegressor*-Modell aufgebaut ist.

Im nächsten Schritt wurde der *RandomForestRegressor* mit den verfeinerten Hyperparametern an die gesamte Trainingsmenge gefittet, um die breitest mögliche Datenbasis zu verwenden und damit die bestmögliche Vorhersage zu erlauben. Der so trainierte ML-Algorithmus stellt nun das finale Modell dar, das für die Vorhersage und Imputation der Bruttoabfallmasse verwendet wurde.

### Informationen zum finalen Modell

Das finale Modell ist ein *RandomForestRegressor*, der aus vier *DecisionTreeRegressoren* (*Decision Tree* = Entscheidungsbaum) aufgebaut ist. Die maximale Tiefe dieser Entscheidungsbäume beträgt 15 Ebenen und bei jedem Entscheidungsknoten werden sieben Features für die bestmögliche Entscheidung in Betracht gezogen. Dieses Modell bewertet intern bereits die für die Bestimmung der Bruttoabfallmasse wichtigsten Features, die in Abbildung 5 grafisch dargestellt sind. Besonders bedeutend ist das Bruttovolumen, gefolgt von der Masse des Schwerbetonzuschlags, der Betonmasse und der Feature Engineering Spalte der Konditionierungsmasse. Am unwichtigsten für die Vorhersage sind die Informationen, ob es sich bei den Abfallarten um Torf, PVC/Bauschutt, Aktivkohle, Röhren, Pflanzen, Asphalt, Kies, Keramik, Instrumente, Herzschrittmacher, Edelstahl, Elektroabfall, Sonderteile, Öl, oder der Bleimasse, oder ob es sich um die Verpackungen 300-L- oder 150-L-Fässer handelt. Das bedeutet jedoch nicht, dass für diese Abfallarten oder Verpackungen keine Massen vorhergesagt werden konnten, sondern dass diese Informationen nicht in die

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 28

Bestimmung der Masse eingeflossen sind, da jeweils bereits genügend viele weitere Informationen zur Bildung der Verzweigungen über relevantere Features vorlagen.

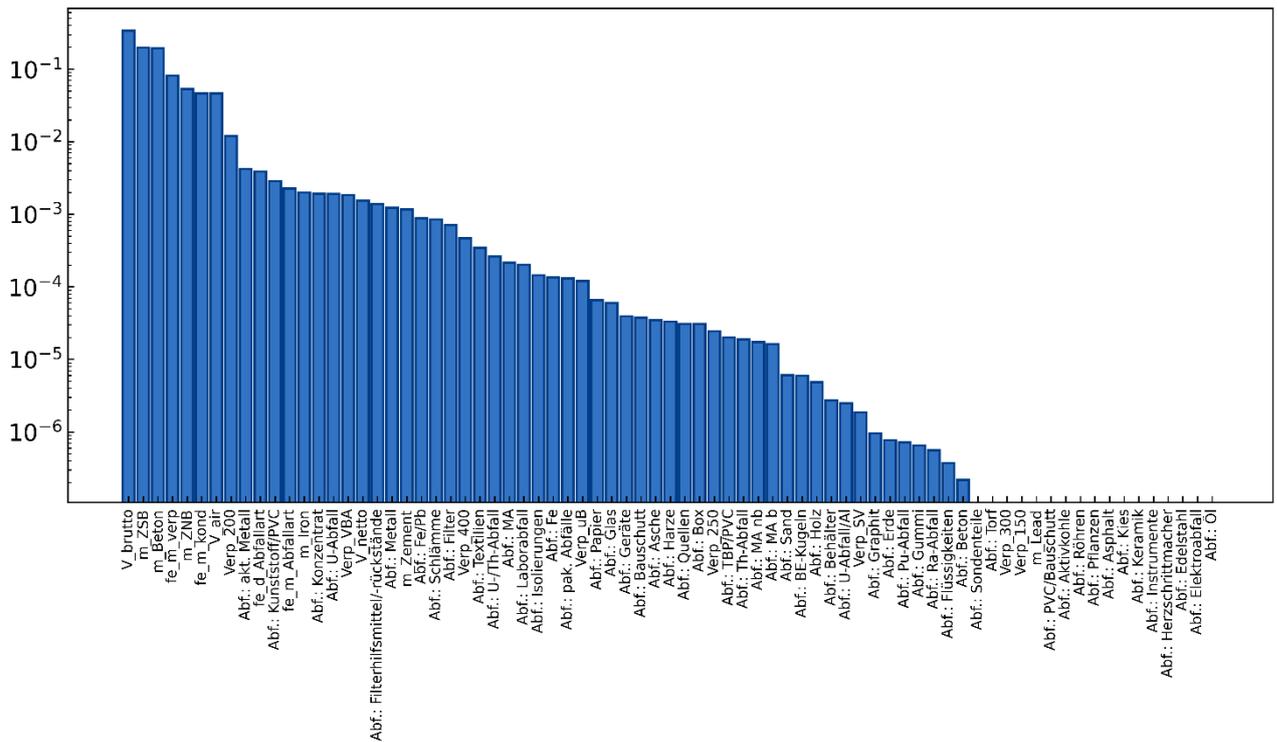


Abbildung 5: Einfluss der Spalten auf die Vorhersage des finalen RandomForestRegressor-Modells.

## Validierung der Aussagekraft des finalen Modells

Die Vorhersage der Massewerte der Trainingsdatenmenge mit dem finalen Modell ergibt eine mittlere absolute Abweichung (MAE) von den tatsächlichen Werten von 54,4 kg und eine Standardabweichung (RMSE) von 142,8 kg. Verglichen mit den Werten des ersten gefitteten LinearRegressor-Modells von 122,4 kg (MAE) und 204,0 kg (RMSE) stellt dies eine deutliche Verbesserung dar. Dementsprechend liegt die Vorhersage wesentlich näher an den tatsächlichen Werten.

Die Abweichung der tatsächlichen von den vorhergesagten Werten für die Trainingsmenge ist in Abbildung 6 gezeigt. Wie der geringe MAE-Wert vermuten lässt, sind die tatsächlichen Werte gut getroffen, was für diese Vorgehensweise spricht. Allerdings gibt es auch einzelne Chargen, bei denen die Gebindemasse unterschätzt oder überschätzt werden. Diese Abweichungen mitteln sich allerdings bei der Beladung von Innenbehältern (IB) bei der Rückholung wieder heraus, da in den jeweiligen ELK im Rahmen der Rückholung mehrere Gebinde (im Mittel z. B. bis zu neun 200-L-Fässer) in einen IB geladen werden sollen.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 29
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

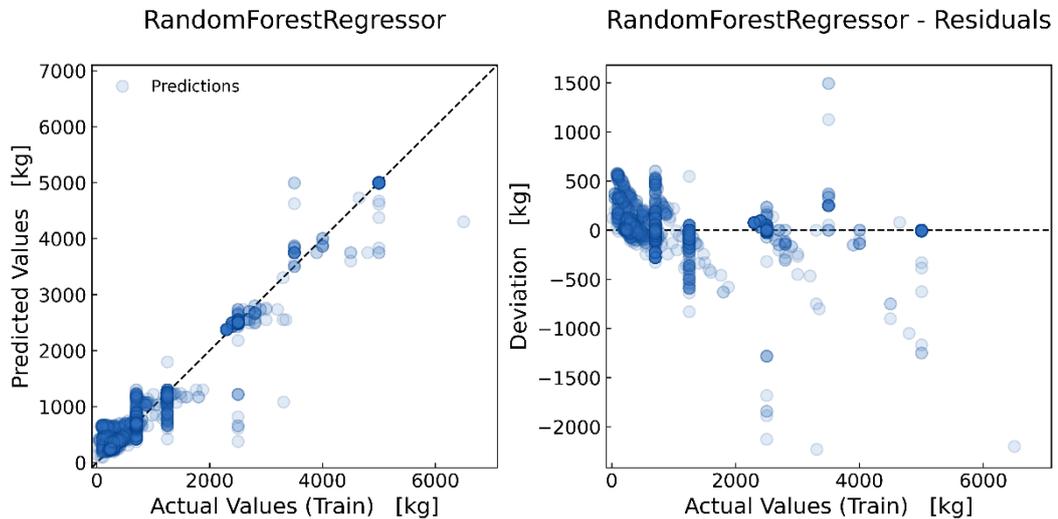


Abbildung 6: Vergleich der vorhergesagten Massewerte und der tatsächlichen Werte des Trainingsdatensatzes des finalen Modells.

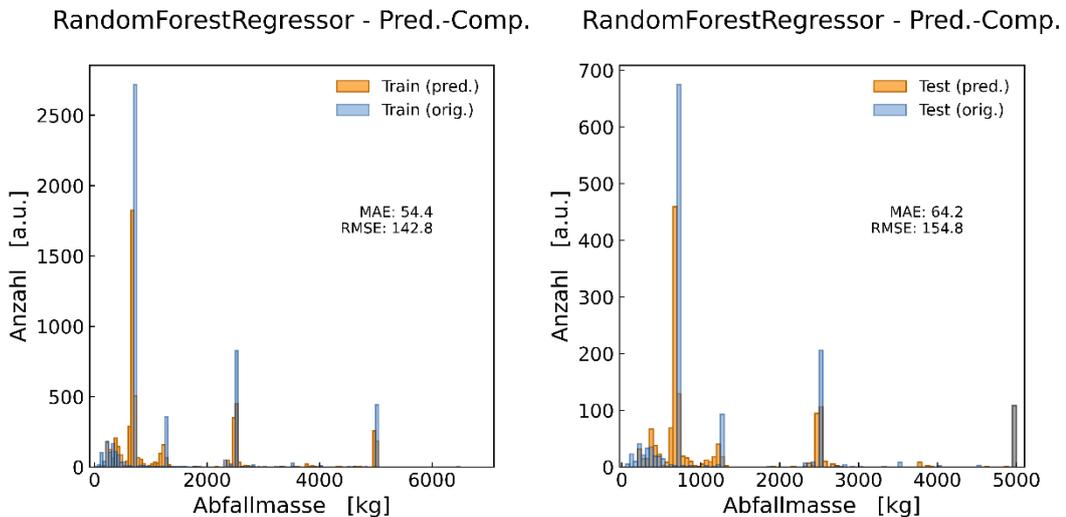


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der tatsächlichen und vorhergesagten Masseverteilung der Trainingsdatenmenge (links) und der Testdatenmenge (rechts).

Da das finale Modell jedoch mit den Trainingsdaten trainiert wurde, ist diese Abweichung nicht aussagekräftig für die Vorhersage von für den ML-Algorithmus unbekanntem Datensätzen (genannt Generalisierung). Aus diesem Grund wurde der gesuchte Generalisierungsfehler (d. h. der wahre Fehler auf die vorhergesagten Werte) auch nicht mit der Trainingsdatenmenge, sondern mit der dem Algorithmus bis dahin unbekanntem Testdatenmenge (d. h. die aufgesparten 20 % der gesamten Datenmenge) bestimmt.

Eine Vorhersage der Massewerte der Testdatenmenge mit dem mit der Trainingsdatenmenge trainierten finalen Modell ergibt eine mittlere absolute Abweichung (MAE) von 64,2 kg und eine Standardabweichung (RMSE) von 154,8 kg. Das bedeutet, dass die vorhergesagten Werte die wahren Werte im Mittel auf 64,2 kg genau vorhersagen und dass der vorhergesagte Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 63 % im Bereich von  $\pm$  RMSE um den tatsächlichen Massewert liegt.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 30

Die Häufigkeitsverteilungen der tatsächlichen und vorhergesagten Massewerte sind in Abbildung 7 für die Trainingsdatenmenge (links) und die Testdatenmenge (rechts) dargestellt. In beiden Fällen wurden die Originaldaten gut reproduziert: Die am häufigsten vorkommenden Werte konnten nicht zur vollen Höhe reproduziert werden, stattdessen lassen sich Häufungen um diese Werte erkennen. Bei den Häufungen handelt es sich um diskrete Werte, z. B. 700 kg. Da der ML-Algorithmus allerdings nicht nur diskrete Werte ausgibt, kommt es automatisch zu einer Streuung um diese prominenten Werte. Im Integral jeweils um die prominenten Werte herum ist die Anzahl von Gebinden sowohl bei den Trainings- als auch bei den Testdaten nahezu identisch.

Auch die breitere Häufung um Massewerte von 300 kg wird in beiden Fällen gut reproduziert. Daraus lässt sich schließen, dass einerseits die Vorhersage mit dem ML-Algorithmus gut funktioniert und dass andererseits die Datenstruktur in Trainings- und Testdatenmenge ähnlich ist. Dies ist plausibel, da diese Datensätze mit einem Stratifizierungsmechanismus aufgeteilt wurden. Aufgrund dieser zufriedenstellenden Reproduktion der Massenhäufigkeitsverteilung und einer mittleren absoluten Abweichung von 64,2 kg wurde somit dieses finale Modell des *RandomForestRegressor* zur Vorhersage und Imputation der fehlenden Massewerte der ASSEKAT verwendet.

### Imputation der Datenlücken der Bruttoabfallmasse

Das finale Modell wurde im nächsten Schritt mit denjenigen Daten aus der Tabelle „Chargen-mod“ belegt, welche Datenlücken bei der Bruttoabfallmasse aufweisen, um eine Vorhersage dieser Massen zu erhalten und die Datenlücken somit zu schließen (sog. Imputation). Die resultierende Verteilung ist in Abbildung 8 dargestellt. Hierbei ist erkennbar, dass die Form des Histogramms der vorhandenen Daten aus der ASSEKAT (blaue Balken) nach der Imputation (gelbe Balken) nicht beibehalten wird. Dies stellt ein konträres Ergebnis zu dem der Trainings- und Testdatenmenge dar (s. Abbildung 7), wo die Form beibehalten wurde. Daraus lässt sich ableiten, dass sich die Struktur der Daten mit und ohne Massenangabe in der ASSEKAT unterscheiden muss.

RandomForestRegressor - Imputed

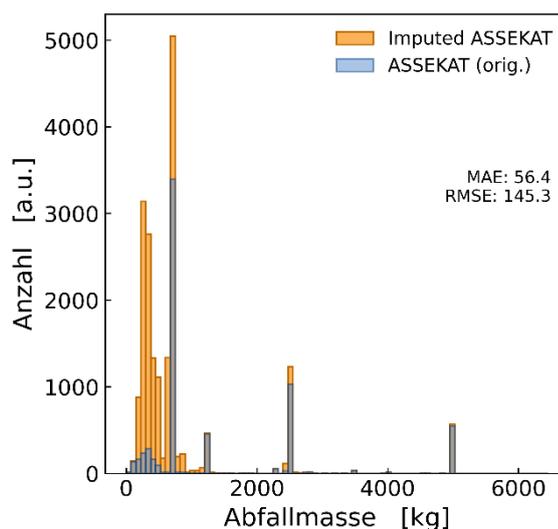


Abbildung 8: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Massedaten der ASSEKAT mit den ML-Algorithmus imputierten Daten.

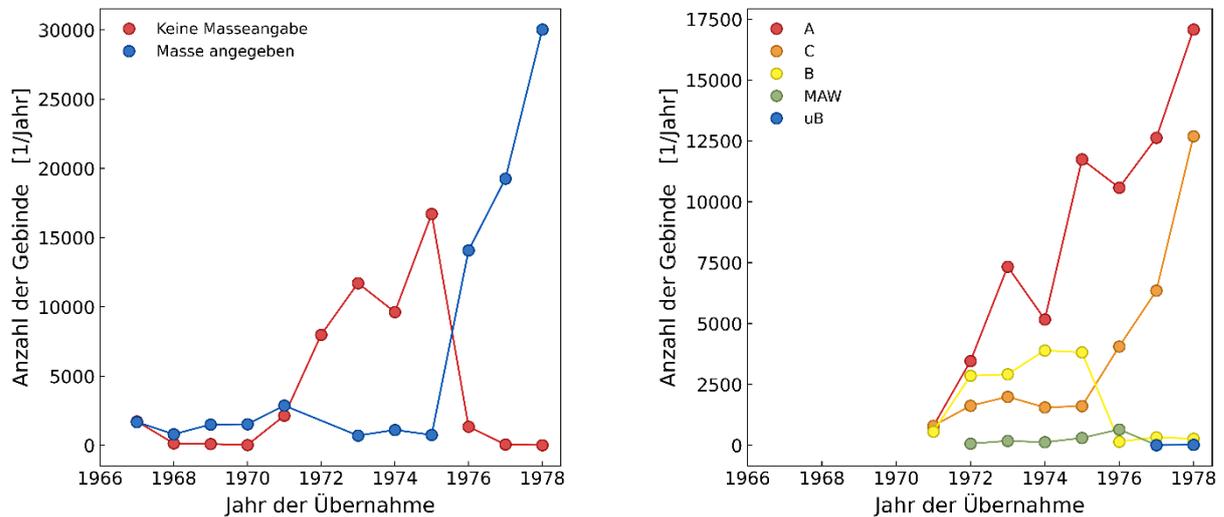
Bei einer Überprüfung der Anzahl der Gebinde mit und ohne Massenangaben als Funktion des Einlagerungsjahres ist ein klarer Trend zu erkennen (s. Abbildung 9 links).

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 31



Legende:

- A: Abfallkategorie A nach Annahmebedingungen von 1971 oder 1975
- B: Abfallkategorie B nach Annahmebedingungen von 1971 oder 1975
- C: Abfallkategorie C nach Annahmebedingungen von 1971 oder 1975
- MAW: Mittelradioaktiver Abfall
- uB: unverbundener Behälter

Abbildung 9: Eingelagerte Gebinde pro Jahr mit und ohne Masseangabe (links) und Abfallkategorie (rechts) als Funktion des Einlagerungszeitpunkts.

In den Jahren 1970 bis 1975 wurden hauptsächlich Gebinde ohne Massenangabe eingelagert, jedoch fällt die Anzahl der Gebinde ohne Masseangabe ab 1976 schlagartig ab. Die Anzahl der Gebinde mit Massenangabe steigt ab 1976 von im Mittel 2.000 auf ca. 13.000 Gebinde sprunghaft an und erreicht einen Höchststand im letzten Jahr der Einlagerung (1978) mit ca. 30.000 Gebinden. D. h. der Großteil der Gebinde mit Massenangabe stammt aus den Jahren 1976, 1977 und 1978. Zudem ändern sich auch ab 1976 die Angaben der Abfallkategorien. Auch das zeigt vereinfacht, dass sich die Abfälle mit und ohne Massenangeben unterscheiden, wodurch sich auch die veränderte Massenverteilung der imputierten ASSEKAT erklären lässt.

Somit steht mit dem trainierten und verfeinerten *RandomForestRegressor* ein ML-Algorithmus zur Verfügung, der auf Besonderheiten im Datensatz reagieren kann und so eine wahrscheinliche Vorhersage der fehlenden Massewerte erlaubt. Es zeigt, wie genau ein ML-Algorithmus arbeitet und sensibel und folgerichtig auf Änderungen in den Daten reagieren kann, was ein weiteres Argument für die Anwendung von ML-Algorithmen zur Imputation der Gebindemassen ist.

## Vergleich mit heuristischen Methoden

Bei den heuristischen Methoden werden Informationen aus dem Datensatz selbst verwendet, um Datenlücken möglichst sinnvoll abzuschätzen und zu schließen. Für den vorliegenden Fall bedeutet das, dass einerseits der Mittelwert und der Median (je Verpackungsart) für die Imputation der Masselücken verwendet werden können. Andererseits kann die Bruttoabfallmasse auch abgeschätzt werden durch die Summe aus Konditionierungsmasse, der Verpackungsmasse (d. h. der Summe aus Eisen-, Blei-, Beton-, Zement-, Normalbeton- und Schwerbetonmassen) und der Abfallartmasse.

Unter Annahme einer Dichte von  $1,5 \text{ g/cm}^3$  für die Abfallartmasse und einer Verteilung von Abfallmasse/Konditionierungsmaterial von 90%/10% (siehe Beschreibung oben zu „Feature-Auswahl und Feature Engineering“ in diesem Kapitel) werden Werte berechnet, die mit „Abfalloption1“ gekennzeichnet und verwendet werden. Wird anstelle dieser pauschalen Dichteabschätzung für die

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 32
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Abfallartmasse eine nach Abfallart aufgelöste Abfallartmasse verwendet (wie oben beim Feature Engineering), werden diese Werte unter „Abfalloption2“ geführt.

Unter Verwendung der Testmenge aus der Behandlung der ML-Algorithmen für die Evaluierung der heuristischen Methoden „Median“, „Mittelwert“, „Abfalloption1“ und „Abfalloption2“ mittels MAE und RMSE, können die MAE- und RMSE-Werte mit den Werten des finalen ML-Algorithmus verglichen werden. So kann getestet werden, welcher Ansatz die beste Vorhersage mit der geringsten Abweichung erlaubt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Vergleich der Unsicherheiten nach Methoden und Besonderheiten

Methode	Konstanter Wert		Zusatzinformationen		ML-basiert
Besonderheit	Median	Mittelwert	Abfalloption1	Abfalloption2	RandomForest Regressor
MAE [kg]	322,3	401,7	504,9	756,3	64,2
RMSE [kg]	754,1	616,3	658,2	987,2	154,8

## Zwischenfazit zur ML-basierten Imputation der Bruttoabfallmasse

In Tabelle 8 zeigt sich, dass die mit Abstand geringsten Werte für MAE und RMSE (mindestens 5, bzw. 4 mal geringer) durch das finale ML-Modell erreicht werden. Somit ist das finale ML-Modell das mit der besten Vorhersagekraft für die fehlenden Bruttoabfallmassen verglichen mit den in der ASSEKAT enthaltenen Werten und wird für die Imputation dieser Größe verwendet. Die so ML-imputierte Gebindemasse und relevante Features inklusive Feature Engineering Spalten werden im Folgenden zur ODL-Imputation verwendet.

### 8.2.2 ML-basierte ODL-Imputation

Nachfolgend soll die Imputation der ODL in einem Meter Entfernung zum Behälter aufgezeigt werden, in welchen die oben imputierten Bruttoabfallmassen einfließen werden.

#### Aktuelle Situation und Zielsetzung

Von den 19.081 Chargen in der ASSEKAT besitzen 12.094 Chargen einen Eintrag bei der Dosisleistung in 1 m Entfernung („Dosis1m“, in „Chargen-mod“), der für das Training und Testen von ML-Modellen herangezogen werden kann. Um die Dosisleistung der Chargen bei der Rückholung aus der Asse abschätzen und somit planen zu können, müssen diese Datenlücken geschlossen werden. In der ASSEKAT gibt es einige Spalten (sog. Features) die einen Einfluss auf die (Orts-)Dosisleistung besitzen. Um diese Zusatzinformationen effektiv beim Auffüllen (Imputieren) der Datenlücken zu nutzen, soll ein ML-basierter Ansatz verwendet werden.

Im Folgenden soll dieses Vorgehen beschrieben, durchgeführt und bewertet werden. Die dafür notwendigen Datenverarbeitungs- und ML-Algorithmustrainingsschritte und die daraus resultierenden Erkenntnisse sollen hier aufgezeigt werden. Im Anschluss wird die Plausibilität der mit dem ML-Ansatz erzeugten ODL-Werte mittels MicroShield®-Rechnungen Version 9.05 überprüft und die Aussagekraft der ODL-Imputation evaluiert.

#### Feature-Auswahl und Feature Engineering

Von den 19.081 in der ASSEKAT vorhanden Chargen besitzen 16.743 Chargen eine Angabe in der Spalte „Dosis1m“, also über die ODL in einem Meter Entfernung (im weiteren: ODL(1m)). Davon wird 3.888 Chargen in der Spalte „Bdg-Dosis1m“ die Bedingung „<“ zugewiesen, die übrigen 12.855 Chargen weisen eine „=“ Bedingung auf. Von diesen Chargen besitzt eine sowohl bei der ODL- als auch bei der Aktivitätsangabe einen 0 Eintrag und bei weiteren 760 Chargen ist die ODL(1m) von 0 angegeben. Bei diesen 760 Chargen können Werte für die Aktivität von mehr als 1.000 Bq gefunden werden, sodass davon ausgegangen werden muss, dass zumindest in einigen Fällen eine ODL(1m)

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 33

von über 0, bzw. von oberhalb der Untergrundstrahlung, angetroffen werden sollte und somit die ODL(1m)-Angaben hier zumindest teilweise nicht plausibel sind. Die Chargen dieser Fälle werden im Folgenden nicht für das Trainieren und das Testen der ML-Algorithmen verwendet, sodass dafür noch 12.094 Chargen übrigbleiben, was in etwa 63 % aller Chargen entspricht.

Bei Chargen mit mehr als einem Gebinde ist unklar, wie sich die Dosisleistung auf die Gebinde verteilt, weshalb für das weitere Training und Testen der ML-Algorithmen nur die Chargen verwendet werden, die nur ein Gebinde besitzen, was 7.996 Chargen übriglässt, und somit etwa 42 % der Chargen der ASSEKAT 10.0 verwendet werden. Diese Chargen werden zum Trainieren und Testen der ML-Algorithmen benötigt, und die übrigen werden dann mit den Vorhersagen des trainierten finalen ML-Algorithmus imputiert.

Die wichtigsten Features für die ODL-Imputation sind die, die einen Einfluss auf die ODL haben oder mit ihr zusammenhängen (sei es kausal oder nur korrelativ). Aus der ASSEKAT 10.0 wurden folgende Spalten identifiziert: Aktivität, DosisAuß, DosisAF, Fe, Pb, Alpha, Beta, Gamma, DosisIK, AbfallK und Beschreibung.

Da sich die ODL aus dem Zusammenspiel von Aktivität und Masse ergibt, wurden sowohl die Spalten m\_Abfall, m\_Beton, m\_Zement, m\_ZNB, m\_ZSB, fe\_d\_Abfallart, fe\_m\_Abfallart, fe\_m\_kond und fe\_m\_verp aus der ML-Massenimputation übernommen als auch die Aktivität der ISS-Katasternuklide Mn-54, Co-60, Nb-94, Ag-108m, Sb-125, Cs-134, Cs-137, Eu-152, Eu-154, Pb-210, Po-210, Rn-222, Ra-226, Ra-228, Ac-227, Th-228, Th-230, Th-231, Th-232, Th-234, Pa-231, Pa-234m, U-234, U-235, U-238 und Cm-243 zum Stichtag des 01.01.1980. Dieser Stichtag wurde so gewählt, um Aktivitätswerte für das Training der ML-Algorithmen zu verwenden, die zeitlich gesehen möglichst nah an dem Dokumentationszeitpunkt der ODL(1m) liegen, die zum Zeitpunkt der Einlagerung oder Abgabe an das Endlager angegeben wurden.

Um weiter zu arbeiten, wurden zuerst alle Spalten mit Werten zur Aktivität von [Ci/Gebinde] in [Bq/Gebinde] als auch alle Spalten mit Dosisleistungswerten von [(m)rem/h] in [mSv/h] umgerechnet.

Aus den Spalten Beschreibung\_V (Angaben zu Wandstärken in [mm]), Pb (in [mm]) sowie Fe (ebenfalls in [mm]) und den Zeichnungen der einzelnen Gebindetypen in den Dokumenten „Vorläufige Bedingungen für die Versuchseinlagerung *mittel*radioaktiver Abfallstoffe im Salzbergwerk Asse“ von 1972 [13] und „Vorläufige Bedingungen für die Versuchseinlagerung *schwach*radioaktiver Abfallstoffe im Salzbergwerk Asse“ von 1975 [14] wurden die Feature Engineering (fe) Spalten zur Wandstärke (WS) in [mm] von Blei, Stahl (inklusive Eisen und Eisenbleche) als auch Beton bestimmt, also fe\_WS\_Blei\_mm, fe\_WS\_Stahl\_mm und fe\_WS\_Beton\_mm.

Des Weiteren wurde ein (Schätz-)Maß für die Abschirmung der Behälter ermittelt indem die Summe der drei oben genannten fe-Spalten jeweils geteilt durch die bei mehreren  $\gamma$ -Energien gemittelte Halbwertsschichtdicke gebildet wurde: fe\_hwd\_sum. Darauf folgend kann ein (Schätz-)Maß für die abgeschirmte Aktivität errechnet werden, indem die Werte der Spalte fe\_hwd\_sum von der zehnerlogarithmierten Aktivität subtrahiert werden. Die Ergebnisse werden in der Spalte fe\_hwd\_sum\_akt gespeichert. Ein weiteres fe-(Schätz-)Maß für die Abschirmung der Aktivität durch die Abfallmasse kann durch dividieren der Aktivität durch die ML-imputierte Abfallmasse (fe\_AperMass) erzeugt werden. Dabei wird die oben mittels dem ML-Modell imputierte Gebindemasse verwendet.

In dem resultierenden Datensatz werden alle Lücken mit 0 aufgefüllt, die Dosisleistungen und die Aktivitäten zehnerlogarithmiert und die teilweise daraus resultierenden  $-\infty$  Werte durch die zehnerlogarithmierten Messgrenzen (1 Bq, bzw. 10 nSv/h) aufgefüllt. Um einen vollständig numerischen Datensatz zu erhalten, wie er von den ML-Algorithmen gefordert wird, muss noch die Spalte AbfallK OneHot-encodiert werden.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 34

## Datenvorbereitung für ML-Modell

Der durch Feature Engineering erweiterte Datensatz muss für ML-Modelle in eine Menge zum Training und eine zum Testen aufgeteilt werden. Im Anschluss werden die Daten noch skaliert, da das die Vorhersage mancher ML-Algorithmen deutlich verbessert.

Die Aufteilung in Trainings- und Testdatenmenge der Daten, die einen Eintrag bei der (log10) ODL in einem Meter Entfernung ODL(1m) besitzen, wird zu jeweils 80 % und 20 % gewählt. Dabei wird darauf geachtet, dass diese Aufteilung stratifiziert abläuft. Das heißt, dass die Verteilung der zehnerlogarithmierten (log10) ODL(1m) in beiden Datenmengen möglichst gleich ist.

Nun können die Trainings- und Testdatenmenge skaliert werden. Dazu werden je Feature der Trainingsdatenmenge der Mittelwert und die Standardabweichung verwendet (mittels StandardScaler von sklearn).

## ML-Algorithmen mit bester Vorhersagewahrscheinlichkeit finden

Da normalerweise eine lineare Zunahme der Werte der vorbereiteten (und teilweise log10) Features zu einer linearen Zunahme in der log10 ODL(1m) führen sollte, sollen unter anderem lineare ML-Regressionsmodelle getestet werden. Bei diesen Modellen handelt es sich um den LinearRegressor, RidgeCV, LassoCV und den SGDRegressor. Zusätzlich werden noch die Modelle KNeighborsRegressor, DecisionTreeRegressor, RandomForestRegressor, IsolationForest, SVR, LinearSVR, und MLPRegressor verwendet, um Nichtlinearitäten gut fassen zu können und zudem keins der gängigen vielversprechenden Modelle auszulassen. Alle Modelle stammen aus der python Bibliothek Scikit-Learn (sklearn) [12].

Diese Modelle werden mit der Trainingsmenge trainiert (gefittet) und die resultierende Vorhersage der (log10) ODL(1m) auf die Trainingsdatenmenge mit den tatsächlichen Bruttoabfallmassen verglichen. Zur Quantifizierung der Abweichung eignen sich Größen wie der MAE und RMSE. Der MAE gibt die zu erwartende Abweichung einer Vorhersage vom tatsächlichen Wert an und RMSE gibt das Wahrscheinlichkeitsintervall (von  $\pm$  RMSE) an, in dem 63 % der vorhergesagten Werte um den tatsächlichen Wert streuen. Die Ergebnisse für die oben genannten ML-Algorithmen in den Größen MAE und RMSE sind in Abbildung 10 gezeigt.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 35

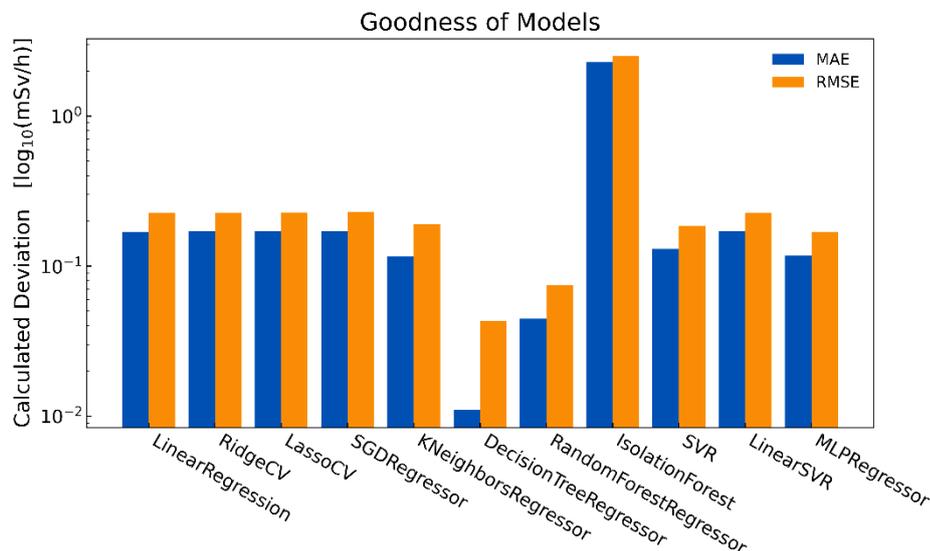


Abbildung 10: Vergleich der mittleren absoluten Abweichung (MAE) und der Standardabweichung (RMSE) der vorhergesagten Werte des Trainingsdatensatzes verschiedener ML-Algorithmen

Hier zeigt sich, dass die drei am besten geeigneten ML-Modelle der DecisionTreeRegressor, der RandomForestRegressor und der KNeighborsRegressor sind. Diese werden nun einer Kreuzvalidierung unterzogen. Bei einer Kreuzvalidierung wird der Trainingsdatensatz hier in fünf gleich große Teile zerlegt und der ML-Algorithmus mit vier von diesen gefittet. Auf den übriggebliebenen Datensatz wird eine Vorhersage der log10-ODL(1m) durchgeführt und die Größe des RMSE bestimmt. Das hat den Vorteil, dass nun der RMSE mit einer Datenmenge bestimmt wird, die der ML-Algorithmus beim Training noch nicht gesehen hat. Dadurch wird ein vollständiges „Auswendiglernen“, sogenanntes Overfitting, der zum Fitten verwendeten Daten verhindert, was die generelle Robustheit der Modelle und darüber hinaus in der Regel die Vorhersage auf unbekannte Datenmengen stark verbessert.

Bei der Kreuzvalidierung liegt der RandomForestRegressor mit einem mittleren RMSE von 0,180 deutlich unter dem SVR mit 0,210, dem MLPRegressor mit 0,215, DecisionTreeRegressor mit 0,231, und dem KNeighborsRegressor mit 0,241. Das bedeutet, dass der RandomForestRegressor bei der vorliegenden Problemstellung die beste Vorhersage erlaubt.

### Finetuning der Hyperparameter für die bestmögliche Vorhersage

Jeder ML-Algorithmus besitzt interne Parameter, die sogenannten Hyperparameter, die die Art und Weise, wie das Fitting funktioniert, beeinflussen und somit auch einen Einfluss auf die Vorhersage haben. In diesem letzten Schritt werden mittels *GridSearch* mit integrierter Kreuzvalidierung die Hyperparameter des in der Kreuzvalidierung am besten abschneidenden ML-Algorithmus, des RandomForestRegressors, verfeinert (*finetuning*).

Beim RandomForestRegressor waren die besten Hyperparameter `max_depth = 13`, `max_features = 22`, `n_estimators = 80` (Bedeutung der Hyperparameter siehe nächsten Abschnitt) mit einem mittleren RMSE-Wert von 0,174. Was eine Verbesserung auf den RMSE-Wert aus der Kreuzvalidierung von ca. 0,06 darstellt.

Nun wird der RandomForestRegressor mit den verfeinerten Hyperparametern an die gesamte Trainingsmenge gefittet, um die breiteste mögliche Datenbasis zu verwenden und damit die

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 36
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

bestmögliche Vorhersage zu erlauben. Der so trainierte ML-Algorithmus ist nun das finale Modell, das für die Vorhersage und Imputation der ODL in 1 m Entfernung verwendet wird.

### Informationen zum finalen Modell

Das finale Modell ist ein RandomForestRegressor, der aus 80 DecisionTreeRegressoren aufgebaut ist. Die maximale Tiefe dieser DecisionTree-Entscheidungsbäume beträgt 13 Ebenen und bei jedem Entscheidungsknoten werden 22 Features für die bestmögliche Entscheidung in Betracht gezogen. Dieses Modell bewertet intern bereits die für die Bestimmung der log10-ODL(1m) wichtigsten Features, die unten in Abbildung 11 graphisch dargestellt sind.

Besonders bedeutend ist die Dosisleistung in 0 m Entfernung für die Vorhersage der Dosis in 1 m Entfernung, gefolgt von den Aktivitätswerten von Eu-152, Eu-154, der Dosisleistungsklasse, Sb-125 und der Feature Engineering Spalte fe\_AperMass. Die ML-imputierte Abfallmasse ist erst auf dem 15. Platz in der Wichtigkeit zu finden. Sehr unwichtig für das finale ML-Modell für die Vorhersage der ODL(1m) sind die Spalten m\_ZSB (Schwerbetonzuschlagsmasse), fe\_hwd\_Pb (gemittelte Halbwertsschichtdicken von Blei), fe\_WS\_Blei\_mm (Blei Wandstärken der Gebinde).

Nicht in die Entscheidung eingeflossen ist die Aktivitätskategorie uB (AK\_uB). Das bedeutet nicht, dass diese für das Modell weniger wichtigen Features keinen Einfluss auf die ODL haben, sondern lediglich, dass diese Informationen kaum oder nicht in die Bestimmung der ODL(1m) durch dieses Modell eingeflossen sind, da jeweils bereits genügend Informationen zur Bildung der Verzweigungen über relevantere Features vorlagen.

### RandomForestRegressor - Feature Importance

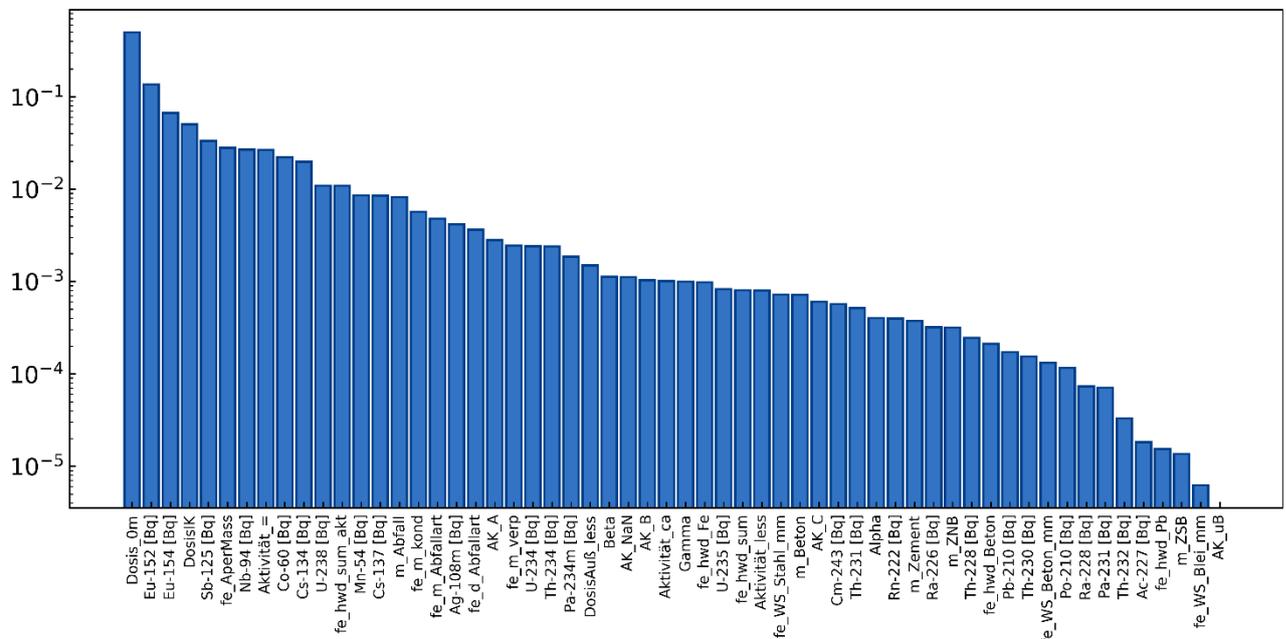


Abbildung 11: Einfluss der Spalten auf die Vorhersage des finalen RandomForestRegressor-Modells.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 37

## Validierung und Aussagekraft des finalen Modells

Wird mit dem finalen Modell die  $\log_{10}$  ODL(1m) der Trainingsdatenmenge vorhergesagt, resultiert daraus eine mittlere absolute Abweichung (MAE) von 0,061 und eine Standardabweichung (RMSE) von 0,094. Ein MAE von 0,062 der  $\log_{10}$  ODL(1m) entspricht einer Abweichung von -13 % bis +15 % auf die nicht logarithmierten ODL(1m)-Werte und ein RMSE von 0,094 besagt, dass die 63 % der vorhergesagten Werte innerhalb von -19 % bis +24 % um die tatsächlichen ODL(1m) Werte liegen. Bei einem Vergleich dieser Werte für die  $\log_{10}$  ODL(1m) mit denen des ersten gefitteten LinearRegressor-Modells von 0,170 (MAE) und 0,227 (RMSE), ist die Verbesserung deutlich zu erkennen. Dementsprechend liegt die Vorhersage wesentlich näher an den tatsächlichen Werten.

Die Abweichung der tatsächlichen von den vorhergesagten Werten für die Trainingsmenge ist in Abbildung 12 (links) zeigt. Die vorhergesagten Werte stehen in einer linearen Beziehung zu den tatsächlichen Werten, mit einer gewissen Streuung (charakterisiert durch RMSE). Es ist keine signifikante zusätzliche und somit durch den ML-Algorithmus unbehandelte Systematik zu erkennen, was für die Anwendung des ML-Algorithmus spricht.

In beiden linken Graphen der Abbildung 12 und Abbildung 13 sind vertikale Häufungen (Streifen) zu erkennen. Diese resultieren daraus, dass die Werte der ODL(1m) in der ASSEKAT 10.0 meistens mit nur zwei signifikanten Stellen angegeben wurden. Grafisch wird die daraus resultierende Zerklüftung durch das feine Binning der Darstellung (2D-Histogramm) sichtbar.

Da die Form der Verteilung der tatsächlichen  $\log_{10}$ -ODL(1m) Werte im Histogramm der Abbildung 12 (rechts) bei den vorhergesagten Werten beibehalten wird, ist davon auszugehen, dass alle Systematiken des Trainingsdatensatzes durch das finale ML-Modell übernommen wurden. Die prominenten Werte in diesem Histogramm sind durch die Angabe der ODL(1m) in der ASSEKAT 10.0 mit nur zwei signifikanten Stellen begründet.

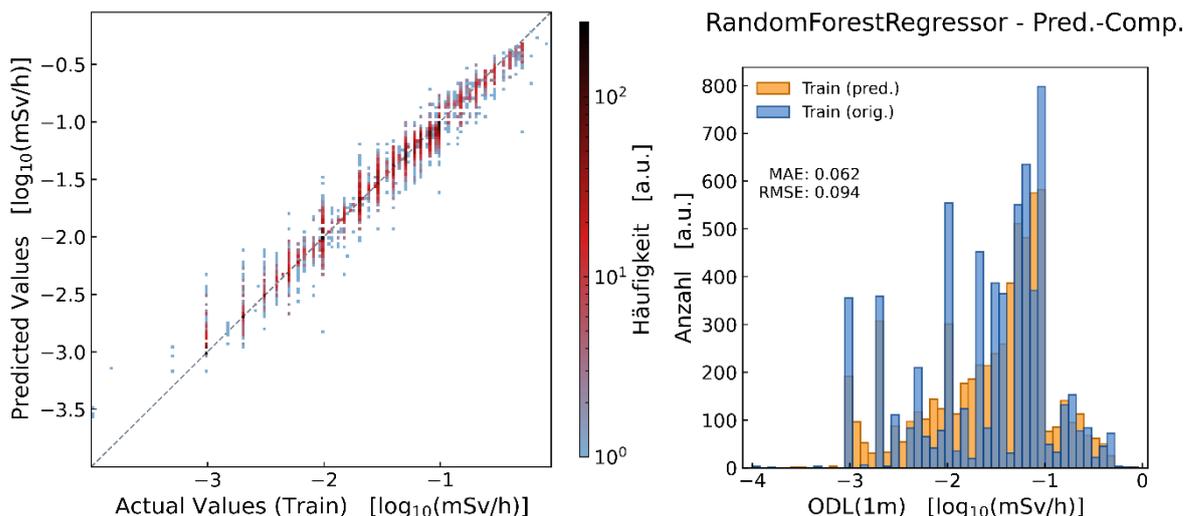


Abbildung 12: Vergleich der vorhergesagten Massewerte und der tatsächlichen Werte des Trainingsdatensatzes (links) und Vergleich der Häufigkeitsverteilung der  $\log_{10}$ -ODL(1m) der tatsächlichen (blau) und vorhergesagten (orange) Werte des Trainingsdatensatzes (rechts).

Da das finale Modell aber mit den Trainingsdaten trainiert wurde, ist diese Abweichung von MAE und RMSE nicht aussagekräftig für die Vorhersage von für den ML-Algorithmus unbekanntem Datensätzen (genannt Generalisierung). Deshalb wird der gesuchte Generalisierungsfehler, der

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 38
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

wahre Fehler auf die vorhergesagten Werte, auch nicht mit der Trainingsdatenmenge, sondern mit der dem Algorithmus bis dahin unbekanntem Testdatenmenge (die aufgesparten 20 % der gesamten Datenmenge) bestimmt.

Wenn mit dem mit der Trainingsdatenmenge trainierten finalen Modell eine Vorhersage der Massewerte der Testdatenmenge durchgeführt wird, resultiert daraus eine mittlere absolute Abweichung (MAE) von 0,106 und eine Standardabweichung (RMSE) von 0,162. Das bedeutet, dass die vorhergesagten Werte die wahren Werte der  $\log_{10}$  ODL(1m) im Mittel auf 0,106 genau vorhersagen, und dass der vorhergesagte Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von 63 % im Bereich von  $\pm$  RMSE um den tatsächlichen Wert streut (sofern die Werte gaußverteilt sind). Ein MAE von 0,106 der  $\log_{10}$  ODL(1m) entspricht einer Abweichung der nicht logarithmierten ODL(1m) von -22 % bis +28 % und ein RMSE von 0,162 besagt, dass die 63 % der vorhergesagten Werte innerhalb von -31 % bis +45 % um die tatsächlichen Werte liegen.

Die Abweichung der Vorhersage von den tatsächlichen Werten der Testdatenmenge ist in Abbildung 13 (links) gezeigt. Auch hier zeigt sich ein linearer Zusammenhang, mit einer gewissen Streuung, ohne dass eine weitere Systematik zu erkennen ist (mit Ausnahme des vertikalen Streifens durch die Angabe mit nur zwei signifikanten Stellen in der ASSEKAT). Das spricht auch hier für die Anwendung des ML-Algorithmus zur Vorhersage der  $\log_{10}$  ODL(1m) Werte, da alle Systematiken des Testdatensatzes im ML-Algorithmus enthalten sind. Gleiches kann aus der Beibehaltung der Form der Verteilung im Histogramm in Abbildung 13 (rechts) gefolgert werden.

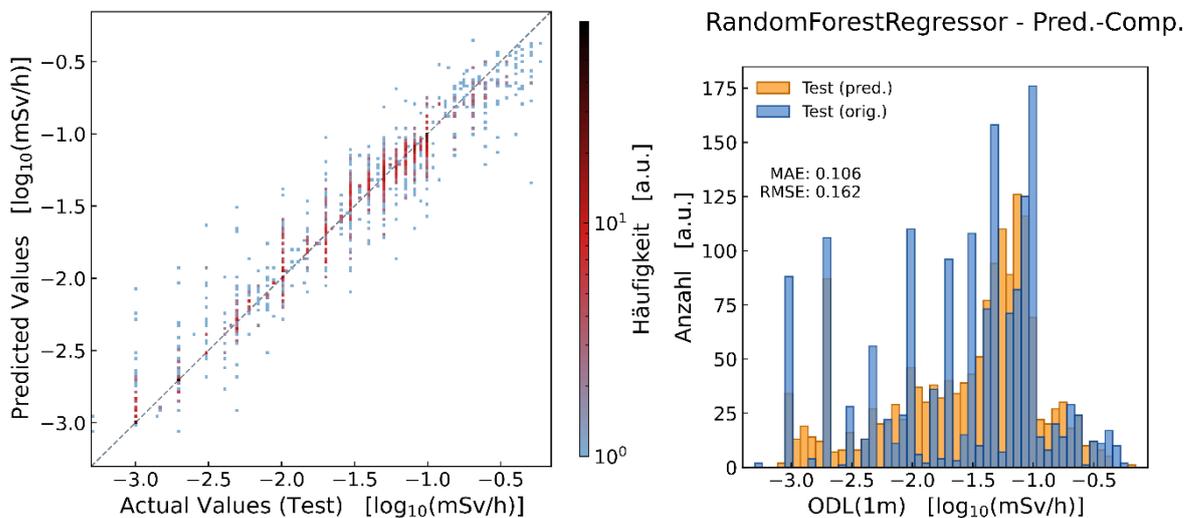


Abbildung 13: Vergleich der vorhergesagten Massewerte und der tatsächlichen Werte des Testdatensatzes (links) und Vergleich der Häufigkeitsverteilung der  $\log_{10}$ -ODL(1m) der tatsächlichen (blau) und vorhergesagten (orange) Werte des Testdatensatzes (rechts).

## Imputation der Datenlücken der Bruttoabfallmasse

Das finale Modell wird nun mit den Daten aus der ASSEKAT 10.0 mit Datenlücken bei der ODL(1m) gespeist, um eine Vorhersage der ODL(1m) zu erhalten. Diese werden dann verwendet um die Datenlücken zu schließen (Imputation). Die resultierende Verteilung ist in Abbildung 14 graphisch dargestellt (orange) und wird mit der Verteilung der tatsächlichen Werte der gesamten ASSEKAT verglichen (blau). Hier ist zu erkennen, dass die Form des Histogramms der vorhandenen Daten aus der ASSEKAT nach der Imputation beibehalten wird. Dies entspricht dem bereits beobachteten Verhalten bei der Trainings- und der Testmenge in Abbildung 12 und Abbildung 13 (jeweils rechts). Daraus kann gefolgert werden, dass auch bei den Chargen mit Datenlücken bei der ODL(1m) in der

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 39
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

ASSEKAT keine zusätzlichen, oder zumindest keine besonders verschiedenen, Systematiken im Datensatz vorhanden sind. Das bedeutet auch, dass alle wesentlichen Systematiken bereits im ML-Algorithmus enthalten sind.

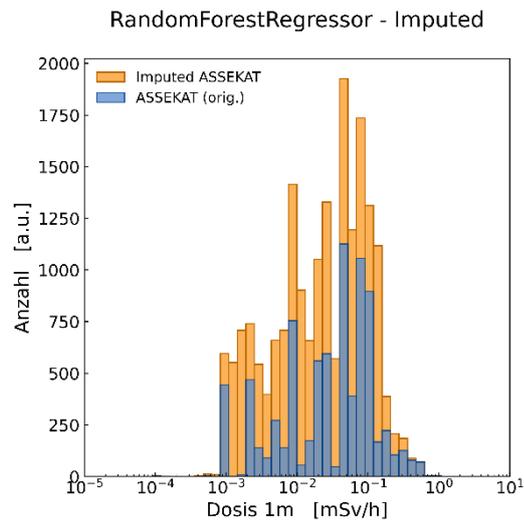


Abbildung 14: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der ODL(1m) in der ASSEKAT (blau) mit den ML-Algorithmus imputierten Daten (orange).

### 8.3 Validierungsrechnungen zur unabhängigen Bestätigung der ODL-Werte

In den obigen Abschnitten konnte festgestellt werden, dass die in der ASSEKAT enthaltenen Systematiken, die die ODL in einem Meter Entfernung (ODL(1m)) beschreiben, durch den ML-Algorithmus gelernt und angewendet werden konnten, was für die Verlässlichkeit der ML-basierten Imputation spricht. Auch ein Generalisierungsfehler von unter  $\pm 30\%$  (siehe MAE des finalen Modells auf die Testmenge) auf die ODL(1m) spricht für die Anwendung des ML-Algorithmus zur Schließung (Imputation) der Datenlücken in der ODL(1m)-Spalte. Diese Bewertung bezieht sich jedoch auf die Werte aus der „Chargen-mod“. Ob die in der „Chargen-mod“ vorhandenen und die ML-imputierten ODL(1m) Werte plausibel sind, soll im Folgenden anhand von MicroShield®-Rechnungen (Version 9.05) überprüft werden.

Dazu müssen zuerst zu überprüfende Chargen identifiziert werden. Hier soll sich an den häufigsten Gebindetypen orientiert werden. Die häufigsten Verpackungsgrößen sind 200-L-Fässer, 400-L-Fässer und Verlorene Betonabschirmungen. Von diesen drei Verpackungsgrößen wird jeweils der häufigste Gebindetyp identifiziert, bei denen nur ein Gebinde in einer Charge vorkommt und Dosisleistungswerte in der „Chargen-mod“ in 0 m und 1 m Entfernung zu finden sind. Außerdem sollte die Aktivität der ISS-Kataster Nuklide (zum 01.01.1980) größer als 10 Bq sein und die angegebene Dosis mehr als  $10^{-5}$  mSv/h = 10 nSv/h aufweisen, da ansonsten die Dosisleistung und Radioaktivität der Gebinde vernachlässigt werden kann.

Mit diesem Filter lassen sich zuerst die häufigsten Gebindetypen identifizieren: „200l-Rollreifenfaß (RR-Faß)“, „400l-RR/RS-Faß mit Flanschdeckel“ und „VBA mit 200l-Innenfaß, Normalbeton, Resthohlraum = Zementleim“. Daraufhin wird die Aktivität der ISS-Kataster Nuklide (zum 01.01.1980) analysiert. Hier fällt auf, dass es Chargen mit einer nennenswerten Dosisleistung (1 m) gibt, bei denen kein Nuklid in der Ergebnistabelle „ISS Kataster“ eine Aktivität von mehr als 10 Bq aufweist. Graphisch sind diese Chargen in Abbildung 15 dargestellt. Hier ist die Häufigkeit als Funktion der ODL(1m) für die Chargen gegeben, bei denen kein Nuklid in der Ergebnistabelle „ISS Kataster“ die Aktivität von 10 Bq überschreitet.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 40
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Aus dieser Abbildung lässt sich entnehmen, dass die Dosisleistungswerte keineswegs vernachlässigt werden dürfen, da von diesen Gebinden eine signifikante Dosisleistung ausgeht. Also müssen deutliche Aktivitäten vorhanden sein, obwohl sie in der Ergebnistabelle „ISS Kataster“ nicht verzeichnet sind (s. Defizit D-12, Kapitel 9). Für die Überprüfung der Plausibilität der ODL(1m) Werte der „Chargen-mod“ und der ML-imputierten Werte bedeutet das, dass Chargen überprüft werden sollten, bei denen viele Katasternuklide eine nicht vernachlässigbare Aktivität aufweisen. Dadurch wird das Risiko minimiert, dass die Ortsdosisleistung durch Aktivitäten gewisser Nuklide verursacht wird, für die es in „ISS Kataster“ keine signifikanten Aktivitäten gibt.

Für die hier angestrebte Validierung werden nun die Chargen für die Plausibilitätsüberprüfungen herausgesucht, bei denen zehn Katasternuklide eine Aktivität von mehr als 10 Bq aufweisen (zum Stichtag 01.01.1980). Da der Stichtag nach dem Einlagerungsdatum liegt, kann es sein, dass die Werte aus den MicroShield®-Berechnungen etwas von denen zum Einlagerungsdatum abweichen (d. h. niedriger sind bei Zerfall und/oder höher bei Nachbildung).

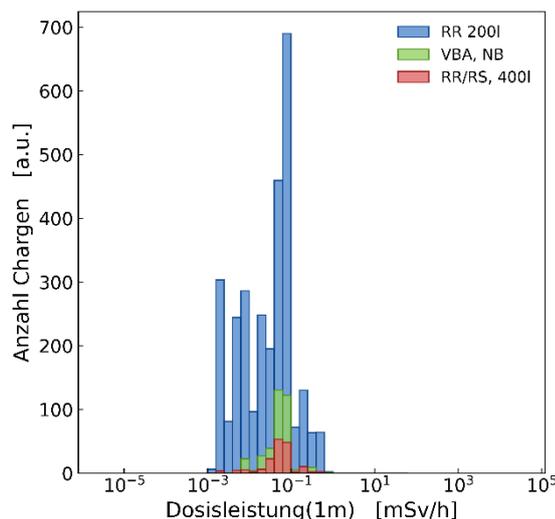


Abbildung 15: Histogramm der Dosisleistung in einem Meter Entfernung für die Chargen der angegebenen Gebindetypen, bei denen kein Nuklid aus „ISS Kataster“ eine Aktivität von 10 Bq überschreitet.

Eine Übersicht über die identifizierten Datensätze und die MicroShield®-Ergebnisse ist in Tabelle 9 gegeben. Für die verschiedenen Gebindetypen wurden jeweils Chargen zufällig ausgewählt, die Dosisleistung in 0 und 1 m Entfernung mittels MicroShield® berechnet und mit den Werten in „Chargen-mod“ verglichen. Hier zeigt sich, dass die Werte in der „Chargen-mod“ mindestens 3,5-mal, bzw. 2,1-mal so groß sind, wie die mittels MicroShield® berechneten Werte (in 0 m, bzw. 1 m Entfernung). Das bedeutet, dass die Werte der „Chargen-mod“ bereits eine Konservativität in Bezug auf die ODL-Angaben besitzen. Da der Generalisierungsfehler des ML-Algorithmus bei ca. ± 28 % im Vergleich zu den „Chargen-mod“-Werten liegt, ist es unwahrscheinlich dass die ML-basierten Werte über den Ergebnissen aus MicroShield liegen. Somit können auch die ML-basierten imputierten ODL-Werte als konservativ betrachtet werden.

Tabelle 9: Übersicht Datensätze und Ergebnisse der MicroShield® Rechnungen.

Gebindetyp	Anzahl Chargen	Anzahl Chargen mit MicroShield® Rechnungen	$\frac{ODL_{ASSEKAT}(0m)}{ODL_{MicroShield}(0m)}$	$\frac{ODL_{ASSEKAT}(1m)}{ODL_{MicroShield}(1m)}$

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 41
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

200-L-Fass	114	12	3,5	2,1
400-L-Fass	2	2	14,8	2,2
Verlorene Betonab- schirmung	46	12	8,7	6,3

Durch das oben beschriebene Schema zur Identifikation der Chargen für die MicroShield® Berechnungen können MAW-Abfälle nicht identifiziert werden, da für sie in der „Chargen-mod“ in 1 m Entfernung keine ODL-Werte vorliegen und diese Werte deshalb imputiert werden müssen. Aus diesem Grund wird nun der häufigste Gebindetyp der MAW-Abfälle herausgesucht, bei denen eine ODL(0m) > 10 nSv/h angegeben ist und MicroShield® Rechnungen für die Chargen mit 10 ISS-Kataster-Nuklide mit nennenswerter Aktivität (vergleiche oben) durchgeführt. Hier können die ODL-Werte in 0 m Entfernung der „Chargen-mod“ mit denen von MicroShield® als auch die ML-imputierten Werte in 1 m Entfernung mit denen von MicroShield® verglichen werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 gezeigt.

Es wurden für alle 29 identifizierten Chargen MircoShield® Rechnungen durchgeführt. Die „Chargen-mod“-Werte (ODL(0m)) liegen im Vergleich zu den MicroShield Ergebnissen ca. 8.000-mal höher. Das würde bedeuten, dass, auch bei MAW-Abfällen, die „Chargen-mod“-Daten der ODL(0m) deutlich konservativ angegeben wurden, jedoch ist ein Faktor von 8.000 besonders hoch. Dieser Unterschied könnte einmal durch einen Beitrag zur Dosisleistung von kurzlebigen Nukliden bei der Einlagerung der Abfälle zustande kommen, die entweder in „ISS Kataster“ nicht auftauchen oder zum verwendeten Stichtag (01.01.1980) bereits zu großen Teilen zerfallen sind. Außerdem kann dieser Faktor so hoch ausfallen, wenn an den eingelagerten Gebinden die Dosis an Hot-Spots an der Gebindeaußenseite gemessen und nur diese notiert wurde. Im Gegensatz dazu wird in MicroShield® eine homogene Verteilung der strahlenden Nuklide auf den gesamten Abfall angenommen.

Da für diese MAW-Gebinde keine ODL(1m)-Werte in der „Chargen-mod“ angegeben sind, wurden diese Datenlücken mit den Vorhersagen des oben trainierten finalen ML-Algorithmus aufgefüllt und mit den Ergebnissen aus MicroShield® verglichen. Hier zeigt sich ein Unterschied mit dem Faktor von 24,2 (ML-ODL ist 24,2-mal höher als die Ergebnisse aus MicroShield®). Dieser Unterschied bedeutet, dass auch die ML-basierten imputierten ODL(1m)-Werte konservative Angaben sind.

Tabelle 10: Übersicht MAW-Datensätze und Vergleich von ASSEKAT und ML-Imputation mit MicroShield®

Gebinde	Anzahl Chargen	Anzahl Chargen mit MicroShield® Rechnungen	$\frac{ODL_{ASSEKAT}(0m)}{ODL_{MicroShield}(0m)}$	$\frac{ODL_{ML-ODL}(1m)}{ODL_{MicroShield}(1m)}$
MAW-200-L-RR-Faß (Annahme: 200-L-RR-Faß mit Greiferringdeckel lt. FZK-Schreiben v. 4.2.00)	29	29	8463,8	24,2

## Fazit zur MicroShield®-Plausibilitätsbetrachtung und ML-Imputation der ODL

Der trainierte und finale ML-Algorithmus ist in der Lage die im Datensatz beheimateten Systematiken in Bezug auf die ODL in einem Meter Entfernung (ODL(1m)) zu beschreiben und auch für unbekannte Datensätze innerhalb eines Generalisierungsfehlers von unter 30 % anzugeben. Darum wird die mit ihm erzeugte Vorhersage zur Imputation der ODL(1m) in der „Chargen-mod“ verwendet.

Bei Plausibilitätsüberprüfung mittels MicroShield® zeigt sich, dass die ODL Werte in der „Chargen-mod“ bei 0 und 1 m Entfernung beide konservativ und abdeckend angegeben sind. Darauf basierend

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 42

sind die Werte aus der ML-Imputation ebenfalls konservativ und unterschreiten die MicroShield® Ergebnisse nicht.

Sollte es bei der Erhebung der ODL-Werte in der ASSEKAT bereits eingeflossene Konservativitäten geben (wie die Verwendung nur des Hot-Spot-Wertes für die ODL(0m), oder die Verwendung abdeckender Werte) kann das eine Erklärung für die im Vergleich zu den MicroShield® höheren ODL Werten in der „Chargen-mod“ sein. Außerdem kann ein Teil der ODL bei Einlagerung durch kurzlebige Nuklide verursacht worden sein, die in dem ISS-Kataster nicht vorkommen und somit nicht in die MicroShield® Rechnungen eingeflossen sind, bzw. zum Stichtag des 01.01.1980 bereits zu großen Teilen zerfallen sind, was zu geringeren ODL-Werten mittels MircoShield® führen würde.

Zusammenfassend liegen die ML-basierten imputierten Werte der ODL(1m) im Bereich von 30 % um die Werte der ASSEKAT. Werden die Daten in der „Chargen-mod“ aufgrund des hier angestellten Vergleiches mit den Ergebnissen aus MicroShield® als belastbar und konservativ angesehen, gilt dies auch für die ML-imputierten ODL(1m) Werte (mit einer mittleren Abweichung von  $\pm 30\%$ ).

## 8.4 Entwicklung eines Berechnungsverfahrens zur Ermittlung der ODL

Die Datenlücken in der ODL in einem Meter Entfernung wurden mit dem ML-Ansatz zur Imputation geschlossen. Die ODL ist direkt proportional abhängig von der Aktivität des die Dosisleistung verursachenden Nuklides. Verringert sich die Aktivität eines Nuklides um einen Faktor  $x$ , verringert sich der Beitrag dieses Nuklides zu der ODL um eben diesen Faktor  $x$ . Das bedeutet, dass die ODL zu einem beliebigen Stichtag  $t_{ST}$  durch das zeitliche Verhalten der Aktivitäten der maßgeblichen Nuklide im Vergleich zu einem früheren Zeitpunkt  $t_0$  abgeschätzt werden kann. Um langwierige Berechnungen in der ASSEKAT zu vermeiden, soll das zeitliche Verhalten der Aktivität des jeweiligen Nuklides  $n$  durch mathematische Modelle mit möglichst wenigen Parametern abgeschätzt werden.

Die für die ODL maßgeblichen Nuklide und ihre Töchternuklide sind Mn-54, **Co-60**, Nb-94, Ag-108m, Sb-125, Cs-134, **Cs-137**, Eu-152, Eu-154, Ra-228, Th-232, U-238, Cm-243, Th-231, Th-234 und Pa-234m, als auch Ra-226, Ac-227, Th-228, Pa-231, U-235, Pb-210, Po-210, Rn-222, Th-230 und U-234. Die fettgedruckten Nuklide geben die Nuklide an, deren Aktivität für gewöhnlich mehrere Größenordnungen höher liegen, als die der anderen Nuklide und (somit) den größten Beitrag zur ODL liefern.

Durch Plotten der Aktivität als Funktion der Zeit aller Chargen, bei denen eine Aktivität eines der oben genannten Nuklide verzeichnet ist, können zwei Fälle unterschieden werden:

1. Zeitliches Aktivitätsverhalten nach dem Zerfallsgesetz (lineares Verhalten in Abbildung 16 links)
2. Zeitliches Aktivitätsverhalten nach dem Zerfallsgesetz plus Nachbildung, da es sich um ein Tochternuklid in vielen Chargen handelt (nicht-lineares Aufbauverhalten in Abbildung 16 rechts)

Alle diejenigen Aktivitätsverläufe  $A(t)$  des Nuklides  $n$ , die nach dem Zerfallsgesetz zerfallen (also in Abbildung 16 einen linearen Abfall zeigen), können durch den Parameter der Halbwertszeit  $t_{1/2}$  aufbauend auf den ISS-Kataster Aktivitäten vom 01.01.1980 ( $t_0$ ) für einen beliebigen Stichtag  $t_{ST}$  in der Zukunft nach folgender Formel (Zerfallsgesetz) berechnet werden:

$$A_n(t_{ST}) = A_n(t_0) \cdot e^{-\ln 2 \frac{t_{ST}-t_0}{t_{1/2}}} \quad \text{Gl. (1)}$$

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 43
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

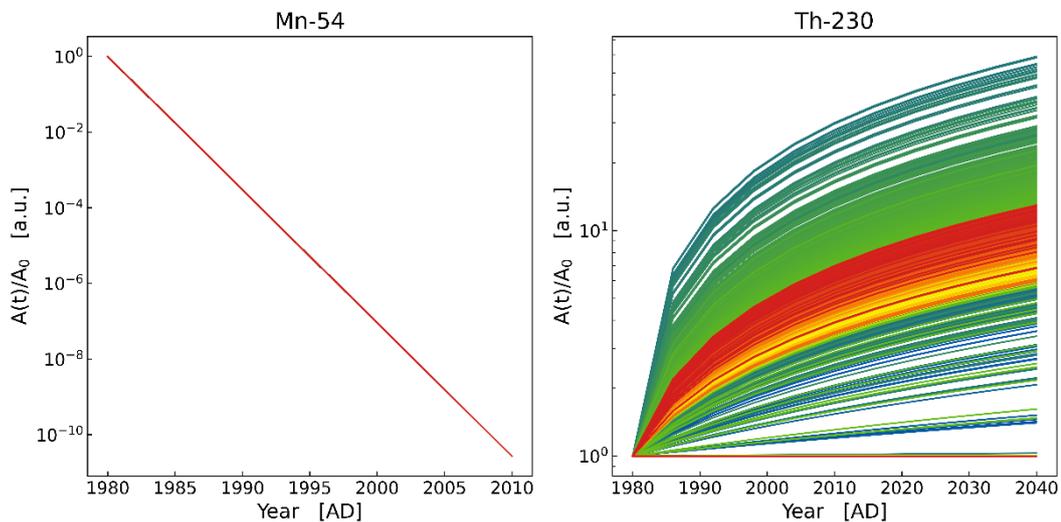


Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der Aktivität des Nuklid Mn-54 aller es beinhaltenden Chargen mit linearen Verhalten nach dem Zerfallsgesetz (links) und Th-230, zum Teil rein nach dem Zerfallsgesetz linear abfallend (Änderung ist minimal) und durch das Nachbilden dieses Nuklides durch die Zerfallsketten ansteigend.

Für alle die Nuklide, die in den Achsen von Abbildung 16 ein lineares Verhalten zeigen, wurde die mathematische Funktion des Zerfallsgesetzes gefittet, dadurch die Halbwertszeit  $t_{1/2}$  als Fitparameter ermittelt und mit Literaturwerten verglichen. Eine gute Übereinstimmung konnte für die Nuklide Mn-54, **Co-60**, Nb-94, Ag-108m, Sb-125, Cs-134, **Cs-137**, Eu-152, Eu-154, Th-232, U-238 und Cm-243 beobachtet werden. Ein lineares Verhalten aber mit abweichender Halbwertszeit wurde bei den Nukliden Th-228, Th-231 und U-235 (aufgrund des Pu-239-Zerfalls) beobachtet, da sie zu gewissem Grad nachgebildet werden. Die beiden für die Aktivität und ODL maßgeblichen Nuklide Co-60 und Cs-137 werden allerdings nicht nachgebildet und zerfallen mit der Halbwertszeit gem. Literaturwert. Für die Zerfallskorrektur der ODL werden für all diese Nuklide, die ein lineares Verhalten zeigen, die Halbwertszeiten aus dem Fit verwendet, um Aktivitäten  $A_n(t_{ST})$  zu berechnen. Die Aktivitäten dieser Nuklide zum Stichtag 01.01.1980 sind in der Tabelle „ODL-Input“ pro Charge hinterlegt.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 44
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

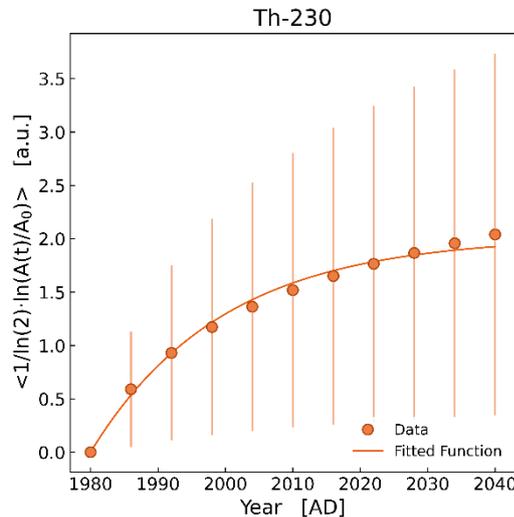


Abbildung 17: Gemittelter Aktivitätsverlauf aller Chargen die Aktivitäten von Th-230 enthalten (gezeigt in Abbildung 13 rechts) als Funktion der Einlagerungszeit und gefittete modifizierte Exponentialfunktion. Die vertikalen Striche geben die Standardabweichung der eingeflossenen Aktivitäten an.

Bei den Nukliden, die durch den Aufbau als Tochternuklide ein von dem linearen Aktivitätsverlauf abweichendes Verhalten zeigten, wurden die Aktivitätsverläufe von  $A(t)/A(t_0)$  über alle Chargen gemittelt und an diese gemittelten Werte eine modifizierte Exponentialfunktion angepasst, siehe Abbildung 17 für den Fall aus Abbildung 16 rechts. Diese modifizierte Exponentialfunktion hat die Form

$$A_n(t_{ST}) = A_n(t_0) \cdot e^{\ln(2) \cdot b \cdot (1 - e^{-c(t_{ST} - t_0)})} \quad \text{Gl. (2)}$$

wobei  $A_n(t_{ST})$  die Aktivität des Nuklids  $n$  zu einem beliebigen Stichtag  $t_{ST}$  sowie die Parameter  $b$  und  $c$  eine Streckung bzw. Skalierung darstellen. Ein von dem linearen Aktivitätsverlauf abweichendes Verhalten wurde bei den Nukliden Ra-226, Ra-228, Ac-227, Th-228, Th-234, Pa-231, Pa-234m, Pb-210, Po-210, Rn-222, Th-230 und U-234 (aufgrund des U-238-Zerfalls) beobachtet. Für diese Nuklide wurden die Parameter  $b$  und  $c$  durch Fitten der modifizierten Exponentialfunktion (Gl. (2)) bestimmt. Mit der modifizierten Exponentialfunktion und diesen Parametern kann  $A_n(t_{ST})$  berechnet werden. Die Aktivitäten dieser Nuklide zum Stichtag 01.01.1980 sind in der Tabelle „ODL-Input“ pro Charge hinterlegt.

Die aus den Fits resultierenden Parameterwerte für beide Funktionen sind in der Datentabelle „ODL-Nuklide“ hinterlegt. Hiermit können die Aktivitäten  $A_n(t_{ST})$  der Nuklide  $n$  für einen beliebigen Stichtag  $t_{ST}$  berechnet und für die Zerfallskorrektur der ODL verwendet werden.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 45
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

## 8.5 Implementierung der Ausgabe chargenbezogener ODL-Werte in der ASSEKAT

Die ODL-Werte zum Stichtag  $ODL(t_{ST})$  werden anhand der ODL-Werte zum Zeitpunkt  $t_0 = 01.01.1980$   $ODL(t_0)$  nach folgender Formel zerfallskorrigiert berechnet:

$$ODL(t_{ST}) = ODL(t_0) \frac{\sum_n A_n(t_{ST})}{\sum_n A_n(t_0)} \quad \text{Gl. (3)}$$

Die ODL-Werte  $ODL(t_0)$  und die Aktivitäten  $A_n(t_0)$  der zu berücksichtigenden Nuklide (Index  $n$ ) sind in der Tabelle „ODL-Input“ pro Charge hinterlegt. Diese Aktivitäten wurden mit dem PAI-Modul der ISS-Katasternuklide berechnet.

Die Nuklide, deren Aktivitäten durch das Zerfallsgesetz (Gl. (1)) berechnet werden können, sind in der Tabelle „ODL-Nuklide“ hinterlegt.

Die anderen Nuklide, die für die ODL-Zerfallskorrektur herangezogen werden sollen, für die eine Abweichung vom Zerfallsgesetz aufgrund der Nachbildung von Tochternukliden beobachtet wurde, werden folglich nicht korrekt durch das Zerfallsgesetz beschrieben. Die Aktivitäten dieser betroffenen Nuklide sind ebenfalls in der Tabelle „ODL-Input“ hinterlegt. Deren Aktivität in Abhängigkeit von der Zeit wird besser durch eine modifizierte Exponentialfunktion (Gl. (2)) beschrieben. Diese besitzt zwei Parameter, die ein Maß für eine Skalierung und Streckung darstellen (Parameter  $b$  und  $c$ ), die auch in „ODL-Nuklide“ hinterlegt sind.

Die Berechnung der ODL-Werte zum Stichtag nach der oben angegebenen Formel (Gl. (3)) wird von der Subroutine „ODL\_Berechnung“ durchgeführt. In dem Sonderfall, dass keine Aktivitäten der für die Zerfallskorrektur verwendeten Nuklide einer Charge verzeichnet sind, wird  $ODL(t_{ST}) = ODL(t_0)$  ausgegeben. Es findet in diesem Fall keine Korrektur statt.

Die Ergebnisse des zeitlichen ODL-Verlaufes nach Zerfallskorrektur für alle Chargen der ASSEKAT 10.0 für den Zeitraum von 1980 bis 2040 mit einem Intervall von 6 Jahren sind in Abbildung 18 gezeigt. Links in dieser Abbildung ist das Verhalten aller Chargen samt Darstellung der Verteilung zum jeweiligen Zeitpunkt (sog. Violinplots) dargestellt.

Im Mittel sinkt die ODL je Gebinde einer Charge von ca. 0,05 mSv/h auf ca. 0,02 mSv/h. Der Maximalwert der ODL 1980 beträgt ca. 0,9 mSv/h und sinkt gemäß Zerfallskorrektur bis 2040 auf unter 0,2 mSv/h. Sowohl das absolute als auch das relative ODL Verhalten im rechten Graphen von Abbildung 18 zeigen, dass es neben den häufigsten Verhalten der Abnahme der ODL auch Fälle gibt, in welchen die ODL ansteigt. Es gibt eine Charge, bei der die ODL auf mehr als 20 mSv/h aufgrund der Zerfallskorrektur ansteigt. Der nächst höchste Anstieg endet bei ca. 10 mSv/h. Grund hierfür ist, dass die beiden betroffenen Chargen nur das Nuklid Po-210 enthalten, für welches im Mittel ein Aufbau erfolgt und somit die ODL-Zerfallskorrektur ebenfalls zu einem Anstieg führt. Dieser Anstieg bis 2040 ist jedoch nur fiktiv, da Po-210 mit der Zeit zerfällt und in diesen Chargen nicht nachgebildet werden kann.

Im Sinne einer konservativen Planung der Strahlenschutzmaßnahmen ist dieser Effekt jedoch nicht von Nachteil, da die Rückholplanung für die entsprechenden ELK zunächst auf ein hohes Perzentil (bspw. 95 %) der zu erwartenden ODL-Werte ausgerichtet werden kann.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 46
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

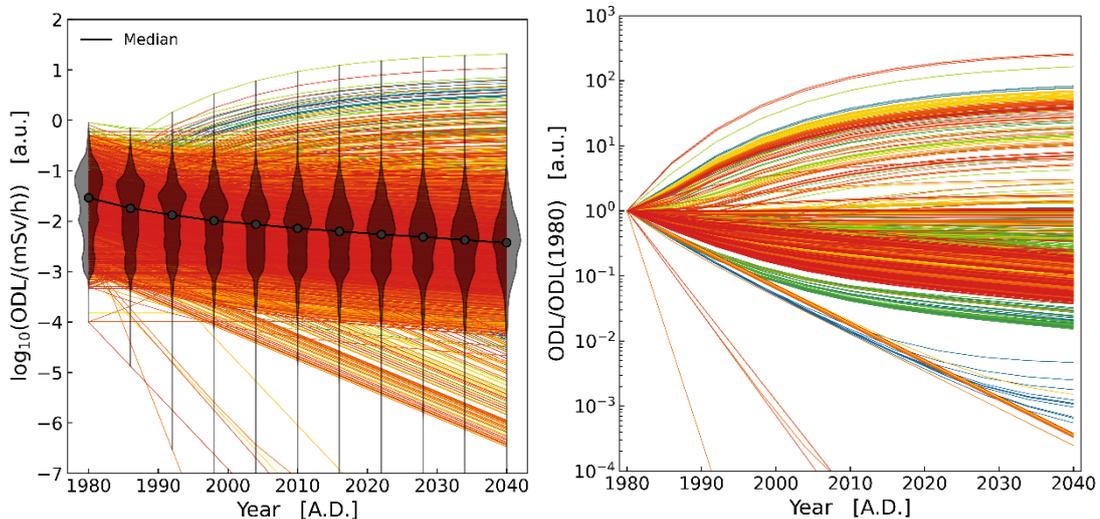


Abbildung 18: Auswirkungen der Zerfallskorrektur auf die ODL-Werte. Links: mittleres zeitliches Verhalten mit Violinplots zur Veranschaulichung der Verteilung zum jeweiligen Zeitpunkt aller Chargen; rechts: relatives zeitliches Verhalten der ODL.

## 9 Behebung Defizit D-12: Überprüfung der Nuklidaktivitäten

### 9.1 Beschreibung des Defizites

Für insgesamt 1.798 Chargen wird mittels PAI eine Gesamtaktivität von 0 Bq bereits zum Stichtag 01.01.1980 (Einfluss des Zerfalls somit vernachlässigbar) berechnet. Hierbei kann bislang auf Basis der Datentabelle „ISS Kataster“ der ASSEKAT 10.0 nicht eindeutig ermittelt werden, ob diese Chargen keine Aktivität aufwiesen oder ob stattdessen keine Berechnung in PAI durchgeführt werden konnte, da nicht genügend Daten für eine Berechnung in PAI vorliegen (sog. <NULL>-Werte).

In der Datentabelle „ISS Kataster“ wurden bereits in einer früheren ASSEKAT-Version die beiden Felder mit den Kontrollmeldungen „Ch\_ber“ (Charge berechnet) und „Ch\_vern“ (Charge vernachlässigt) implementiert, die dem Nutzer einen Hinweis geben sollten, ob es sich bei den jeweiligen Aktivitäten um <NULL>-Werte handelt:

- **Ch\_ber** = „ja“, wenn mindestens eine Berechnung stattgefunden hat
- **Ch\_vern** = „ja“, wenn Charge bewusst nicht berechnet wurde, z. B. „aufgrund mangelnder Daten oder unverhältnismäßig hohem Aufwand“.

Im VBA-Code sind zudem bis zur ASSEKAT 10.0 für einige Chargen und Berechnungsroutinen folgende Kommentare enthalten:

„PAI: keine Berechnung, da  
1. nur eine brauchbare Angabe vorliegt (Po-210, ist bereits zerfallen)  
2. Gesamtaktivität vernachlässigbar ist  
3. kein Hinweis auf langlebige Isotope vorliegt“

„LAW-Fragebögen, Aktivitäten völlig unklar“

„Chargen werden vernachlässigt, weil die Actinoiden unmöglich einen wesentlichen Teil der 0,1 Ci ausmachen können, 0,1 Ci Np-237 beispielsweise wäre ca. 150 g!“

Die beiden Kontrollfelder stellen aber ebenfalls noch keinen eindeutigen Indikator zur Identifizierung der sog. <NULL>-Werte dar. Deutlich wird dies durch die in Abbildung 19 dargestellte und

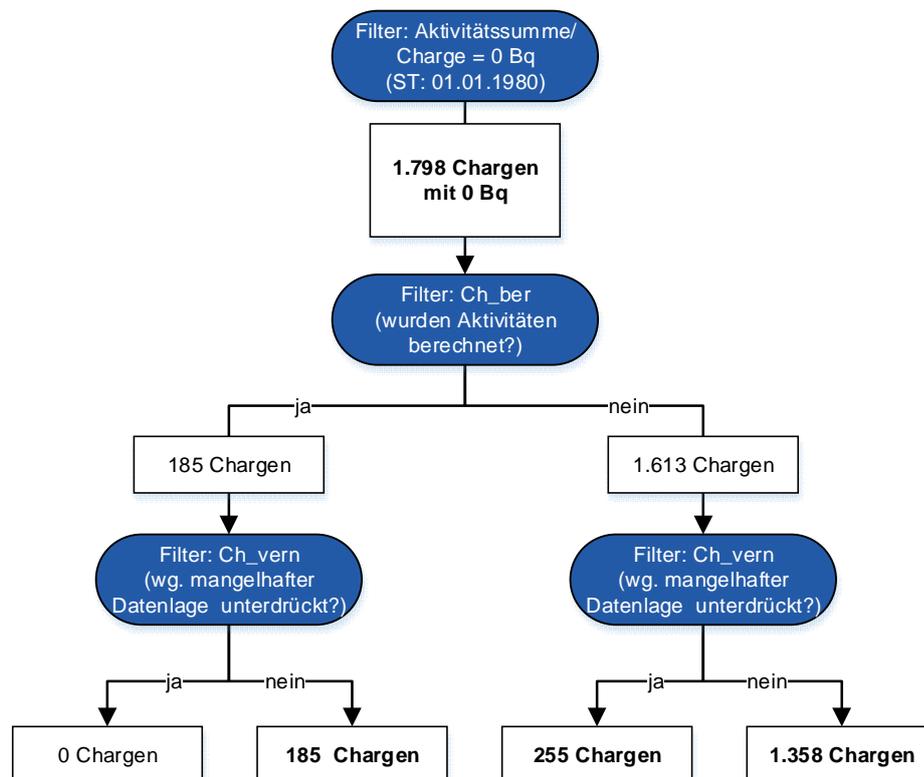
# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 47
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

nachfolgend beschriebene Filterung der **1.798 Chargen** anhand der Felder „Ch\_ber“ und „Ch\_vern“ (die Ebene „unbekannte Spaltprodukte „unbek\_SP“ aus [1] kann hier vernachlässigt werden). Die nachfolgende Beschreibung baut auf den Erkenntnissen aus [1] auf und untersetzt diese mit den zusätzlich erlangten Informationen durch die Behebung des Defizit D-23 (s. Kapitel 11).

Abbildung 19: Filterung der Chargen nach den Kontrollmeldungen „Ch\_ber“ und „Ch\_vern“ in „ISS Kataster“



- Filter  $Ch\_ber = True$  UND  $Ch\_vern = False$   
Dieser Filter enthält **185 Chargen**, welche berechnet und nicht vernachlässigt werden. Hierunter fallen Chargen sowohl mit <NULL>-Werten (mittlere Aktivitäten > 0 Bq und/oder Dosisleistung > 0 mrem/h) als auch 0 Bq (mittlere Aktivitäten = 0 Bq und Dosisleistung = 0 mrem/h) [1]
- Filter  $Ch\_ber = False$  UND  $Ch\_vern = True$   
Dieser Filter enthält **255 Chargen**, welche nicht berechnet und somit vernachlässigt werden. Die Überprüfung dieser Chargen ergab, dass die Kontrollmeldung aufgrund der Datenlage für alle 255 Chargen nachvollziehbar und plausibel ist.
- Filter  $Ch\_ber = False$  UND  $Ch\_vern = False$   
Dieser Filter enthält **1.358 Chargen**, welche weder berechnet noch vernachlässigt werden. Wie bereits in [1] dargelegt, ergibt ein Abgleich mit „Chargen-mod“, dass für diese Chargen entweder Angaben zur mittleren Aktivität mit insgesamt  $4,56 \cdot 10^{12}$  Bq für alle Gebinde der 1.358 Chargen und/oder zur Dosisleistung vorliegen. Ausnahmen stellen die Chargen 1844 und 16856 dar:  
Charge-Nr 1844 enthält im Fasskontrollbuch eine Angabe zur Dosisleistung, welche nicht in „Chargen-mod“ übertragen wurde; somit ist hier von einem <NULL>-Wert auszugehen.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 48
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Charge-Nr. 16856 (ID-Nr. 2769) enthält hingegen auf der Begleitliste keine Angaben zu Aktivität und Dosisleistung, weshalb hier 0 Bq plausibel sind.

In Verbindung mit der Behebung des Defizites D-23 und der Dokumentation der Berechnungsroutinen in PAI (s. Kapitel 11) zeigen die Untersuchungen außerdem, dass die Kontrollmeldung „Ch\_ber = True“ kein Indikator dafür ist, dass tatsächlich eine Berechnung stattgefunden hat, da auch Berechnungsroutinen implementiert sind, welche für viele Chargen mangels Datenlage keine Aktivitäten ausgeben können. Die Felder „Ch\_ber“ und „Ch\_vern“ liefern somit keine eindeutigen Hinweise für eine Fallunterscheidung zwischen 0 Bq und sog. <NULL>-Werten. Die Behebung dieses Defizites wird nachfolgend beschrieben.

## 9.2 Implementierung in VBA

Die dokumentierten Berechnungsroutinen (s. Kapitel 11) können dahingehend eingeordnet werden, ob für die jeweiligen Chargen die Berechnung eine Aktivität mit dem Wert 0 Bq ausgibt oder ob keine Berechnung stattfinden kann, da nicht genügend Informationen vorliegen oder die Aktivitäten vernachlässigbar sind (<NULL>-Werte). Diese Zuordnung ermöglicht es, folgende Berechnungsroutinen in der neu implementierten Subroutine „Sub IstAktivitaet berechnet()“ als „False“ (d. h. es findet keine Aktivitätsberechnung und somit eine Ausgabe von <NULL>-Werten statt) zu klassifizieren:

- *XX\_FF* (die der Berechnungsroutine zugeordneten 221 Chargen werden wegen Geringfügigkeit vernachlässigt)
- *XX\_NN* (die der Berechnungsroutine zugeordneten 1.355 Chargen werden mangels Datenlage nicht berechnet)
- 69 Chargen aus FZK-Kampagne „Vorbetriebsphase“ und „Uranbetrieb“:  
*FZK\_LAW\_0a*, *FZK\_LAW\_0b*, *FZK\_MAW\_0b*, *FZK\_MAW\_0c*

Der zugehörige VBA-Code zur Subroutine „Sub IstAktivitaet berechnet()“ lautet wie folgt:

```
Public Sub IstAktivitaetBerechnet()
' legt den Wert von AktBer_Charge fest

    On Error Resume Next
    Err.Clear

    If Not ( _
        BerRoutine_Charge = "XX_NN" Or BerRoutine_Charge = "XX_FF" Or _
        (Kamp_Charge = "Vorbetriebsphase" And _
            (BerRoutine_Charge = "FZK_MAW_0a" Or BerRoutine_Charge = "FZK_LAW_0a" Or
            _
                BerRoutine_Charge = "FZK_MAW_0b" Or BerRoutine_Charge = "FZK_MAW_0c"
            Or BerRoutine_Charge = "FZK_LAW_0b")) Or _
        (Kamp_Charge = "Uranbetrieb" And BerRoutine_Charge = "FZK_LAW_0a") _
    ) Then
        AktBer_Charge = True
    End If

    If Err Then Call DruckKM("Fehler in Sub IstAktivitaetBerechnet")

End Sub
```

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 49

### 9.3 Anpassung der Datentabelle „ISS Kataster“

Mit Implementierung der Subroutine „IstAktivitaetberechnet()“ wurde die Datentabelle „ISS Kataster“ wie folgt angepasst (s. [7]):

- Die Felder „Ch\_ber“ und „Ch\_vern“ wurden entfernt.
- Das Feld „Aktivität berechnet“ (Feldtyp: ja/nein), welches durch die Subroutine „IstAktivitaetberechnet()“ ausgefüllt wird, wurde ergänzt.

Eine Gesamtaktivität von 0 Bq in Verbindung mit der Kontrollmeldung, dass keine Aktivität berechnet wurde, lässt somit die direkte Einordnung der Aktivitätsangabe der jeweiligen Charge als sog. <NULL>-Wert zu.

### 9.4 Überprüfung von Chargen ohne Aktivität (NULL-Chargen)

Mit Behebung des Defizits D-12 werden in der ASSEKAT 11.0 insgesamt 1.645 Chargen mit 12.026 Gebinden in der Ergebnistabelle „ISS Kataster“ als „nicht berechnet“ gekennzeichnet. Da zu diesen Chargen keine Angaben zu Nuklidzusammensetzung und -verhältnissen vorliegen, kann PAI keine zerfallskorrigierte Berechnung durchführen. Diese sogenannten „NULL-Chargen“ treten bei 15 der insgesamt 38 Ablieferer auf (s. Tabelle 11).

Die Summe der mittels PAI nicht berücksichtigten mittleren Gebinde-Aktivität beträgt gem. den Eintragungen im Feld „Aktivität [Ci]“ der Tabelle „Chargen-mod“ und hochgerechnet auf die Chargen („Aktivität [Ci]“ \* Anzahl Gebinde) ca.  $2,4 \cdot 10^{13}$  Bq<sup>1</sup> (Spalte 1 in Tabelle 11). Dies entspricht ca. 0,27 % der berechneten Gesamtaktivität von ca.  $8,79 \cdot 10^{15}$  Bq zum Stichtag 01.01.1980 (Spalte 7 in Tabelle 11).

<sup>1</sup> Hinweis: Die einzelnen Aktivitätsangaben im Feld „Aktivität [Ci]“ beziehen sich auf verschiedene Stichtage vor und während der Anlieferungsphase. Deren Summe stellt somit eine konservative Angabe zum Stichtag 01.01.1980 dar.

Tabelle 11: Zusammenstellung der Ablieferer mit NULL-Chargen

Spalte:	1	2	3	4	5	6	7	8
Ablieferer/ Herkunft der Abfälle*	Angaben zu NULL-Chargen			Aktivität der berechneten Chargen gem. ISS Kataster (01.01.1980, nur Katasternuklide)	Gesamt-Anzahl Gebinde	Gesamt-Anzahl Chargen	Anteil „Aktivität [Ci]“ an Gesamtaktivität ASSEKAT (01.01.1980)	Verhältnis „Aktivität [Ci]“ zu berechneter Aktivität pro Ablieferer (01.01.1980)
	Summe „Aktivität [Ci]“, hochgerechnet auf Chargen in [Bq]	Anzahl NULL- Gebinde	Anzahl NULL- Chargen					
	[Bq]	[-]	[-]					
	[Bq]	[-]	[-]	[Bq]	[-]	[-]	[%]	[%]
<b>KFA</b>	1,34E+11	497	25	1,39E+14	<b>13.325</b>	1.356	0,002	0,1
GKSS	1,01E+12	1.647	941	1,59E+13	1.893	1.181	0,012	6
<b>GFK/KFK</b>	1,67E+13	6.809	69	8,15E+15	<b>61.189</b>	4.429	<b>0,199</b>	0,2
<b>FRM</b>	1,94E+11	137	10	2,60E+09	260	27	0,002	<b>7.458</b>
GSF Nhg	3,98E+11	859	142	1,10E+14	5.293	840	0,005	0,4
HMI	2,44E+12	847	97	4,19E+13	2.909	221	0,029	6
<b>HOE</b>	3,78E+11	310	80	2,44E+10	376	110	0,004	<b>1.551</b>
Siemens	5,01E+11	41	8	-	41	8	0,006	-
NUK	3,38E+11	172	151	1,84E+12	1.205	549	0,004	18
KWU Karlstein	1,85E+10	50	1	8,06E+12	2.205	1.236	0,0002	0,2
<b>GSF Han</b>	7,37E+10	107	55	1,93E+09	121	67	0,001	<b>3.825</b>
FBA	-	14	8	-	14	8	-	-
TN	1,63E+12	405	18	3,83E+12	2.327	623	0,019	43
MP	1,09E+11	80	37	2,55E+11	333	171	0,001	43
<b>MPI</b>	5,51E+10	51	3	8,86E+09	76	4	0,001	<b>622</b>
Ablieferer ohne NULL-Chargen	-	-	-	3,21E+14	34.220	8.251	-	0,1
<b>Summe</b>	<b>2,40E+13</b>	<b>12.026</b>	<b>1.645</b>	<b>8,79E+15</b>	<b>125.787</b>	<b>19.081</b>	<b>0,27</b>	

\* Erläuterung der Kürzel: s. Kapitel 3

Update und Überarbeitung der Datenbank für das in  
 die Schachtanlage ASSE II eingelagerte  
 Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)

Projekt	PSP-Element	Funktion / Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNAANN	AAANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

**BGE**  
BUNDESGESellschaft  
FÜR ENDLagerung

Blatt: 50

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 51
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Die NULL-Chargen sollen dahingehend detaillierter untersucht werden, ob durch (konservative) Annahmen eine Aktivitätsberechnung in PAI umgesetzt werden kann. Folgende Ablieferer wurden hierbei mit nachstehender Begründung ausgewählt:

- GFK/KfK: Größter Ablieferer bzgl. eingelagerter Gebinde (Spalte 5 der Tabelle 11), höchster prozentualer Anteil von „Aktivität [Ci]“ im Vergleich zur Gesamtaktivität der ASSEKAT (Spalte 7 der Tabelle 11) sowie höchste mittlere Aktivität der NULL-Chargen (Spalte 1 der Tabelle 11), zudem Hauptablieferer von kernmaterialhaltigen Gebinden.
- KFA: Zweitgrößter Ablieferer bzgl. eingelagerter Gebinde (Spalte 5 der Tabelle 11.), zudem Hauptablieferer von kernmaterialhaltigen Gebinden.
- FRM: Das Verhältnis der Summe von „Aktivität [Ci]“, hochgerechnet auf Chargen (Spalte 1 der Tabelle 11) der zur Aktivität gem. ISS Kataster zum Stichtag 01.01.1980 (Spalte 4 der Tabelle 11 für die Chargen dieses Ablieferers) ist größer 100 % (Spalte 8 der Tabelle 11).
- HOE: Das Verhältnis der Summe von „Aktivität [Ci]“, hochgerechnet auf Chargen (Spalte 1 der Tabelle 11) der zur Aktivität gem. ISS Kataster zum Stichtag 01.01.1980 (Spalte 4 der Tabelle 11 für die Chargen dieses Ablieferers) ist größer 100 % (Spalte 8 der Tabelle 11).
- GSF Han: Das Verhältnis der Summe von „Aktivität [Ci]“, hochgerechnet auf Chargen (Spalte 1 der Tabelle 11) der zur Aktivität gem. ISS Kataster zum Stichtag 01.01.1980 (Spalte 4 der Tabelle 11 für die Chargen dieses Ablieferers) ist größer 100 % (Spalte 8 der Tabelle 11).
- MPI: Das Verhältnis der Summe von „Aktivität [Ci]“, hochgerechnet auf Chargen (Spalte 1 der Tabelle 11) der zur Aktivität gem. ISS Kataster zum Stichtag 01.01.1980 (Spalte 4 der Tabelle 11 für die Chargen dieses Ablieferers) ist größer 100 % (Spalte 8 der Tabelle 11).

In Tabelle 12 werden zu den ausgewählten Ablieferern die Anteile der NULL-Gebinde an den Gebinden bzw. der Aktivität pro ELK sowie an der Gesamtaktivität über alle Chargen (8,79E+15 Bq zum Stichtag 01.01.1980) gebildet. Diese Zusammenstellung gibt eine Übersicht über die mögliche Relevanz der NULL-Gebinde pro Ablieferer, welche in den nachfolgenden Kapiteln näher untersucht wird.

Tabelle 12: Übersicht über verschiedene Anteile der Null-Gebinde der untersuchten Ablieferer

ELK	Gesamtanzahl Gebinde pro ELK	NULL-Gebinde pro ELK	Gesamtaktivität [Bq] Katasternuklide (01.01.1980) pro ELK	KFA	GFK/KfK	FRM	HOE	GSF Han	MPI
<b>Anteil NULL-Gebinde an Gebinden pro ELK [%]:</b>									
4/750	6.340	5.426	7,06E+11	1,1	76		1,8	0,22	
1/750	10.933	3.515	5,48E+14	3,9	18,2		0,36	0,25	
2/750NA2	36.909	1.339	2,52E+14				0,41	0,10	0,14
10/750	4.664	62	1,40E+13					0,21	
8/750	11.270	435	1,48E+14			1,2		0,07	
12/750	7.464	302	4,02E+14					0,16	
<b>Anteil NULL-Gebinde-Aktivität an Gesamtaktivität [%]:</b>									
4/750	6.340	5.426	7,06E+11	0,0002	0,12		0,001	0,0001	
1/750	10.933	3.515	5,48E+14	0,001	0,07		0,002	0,001	
2/750NA2	36.909	1.339	2,52E+14				0,001	0,0001	0,001
10/750	4.664	62	1,40E+13					0,00002	
8/750	11.270	435	1,48E+14			0,002		0,00001	
12/750	7.464	302	4,02E+14					0,00003	

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 52
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

ELK	Gesamtanzahl Gebinde pro ELK	NULL-Gebinde pro ELK	Gesamtaktivität [Bq] Katasternuklide (01.01.1980) pro ELK	KFA	GFK/KfK	FRM	HOE	GSF Han	MPI
<b>Anteil NULL-Gebinde-Aktivität an Aktivität pro ELK [%]:</b>									
4/750	6.340	5.426	7,06E+11	2,4	1,533		12,5	0,73	
1/750	10.933	3.515	5,48E+14	0,02	1,08		0,04	0,01	
2/750NA2	36.909	1.339	2,52E+14				0,03	0,002	0,02
10/750	4.664	62	1,40E+13					0,01	
8/750	11.270	435	1,48E+14			0,13		0,001	
12/750	7.464	302	4,02E+14					0,001	

Im Rahmen dieser abliefererspezifischen Überprüfung der NULL-Chargen werden nachfolgend zunächst die verfügbaren Informationen zu den Chargen zusammengetragen und dabei überprüft, ob es hierfür Hinweise auf nicht berücksichtigte Kernmaterialmassen gibt. Die gem. „Chargen-mod“ nicht berücksichtigte mittlere Aktivität „Aktivität [Ci]“ wird in ein Verhältnis zur berechneten Aktivität des jeweiligen Ablieferers sowie zur berechneten Aktivität der ELK, in welche die jeweiligen NULL-Chargen eingelagert wurden, gesetzt. Dies ermöglicht eine Bewertung der Relevanz der NULL-Chargen in Bezug auf das eingelagerte Inventar und legt den weiteren Umgang mit den NULL-Chargen fest.

Folgende Möglichkeiten zum Umgang mit NULL-Chargen werden dabei bewertet:

- Die Einordnung der vernachlässigten Aktivität im Verhältnis zur Gesamtaktivität, der abliefererspezifischen Aktivität und/oder der ELK-Aktivität ermöglicht es, die Relevanz der NULL-Chargen in einem Gesamtkontext zu bewerten.
- Auf Basis vergleichbarer, berechneter Chargen des jeweiligen Ablieferers wird geprüft, ob Nuklide/Nuklidverhältnisse abgeleitet werden und hieraus (überschätzend) Aktivitäten berechnet werden können. Auch diese werden in ein Verhältnis zur Gesamtaktivität, der abliefererspezifischen Aktivität und/oder der ELK-Aktivität gesetzt.
- Auf Basis der bekannten Nuklide bzw. deren Halbwertszeiten kann die (zukünftige) Relevanz der fehlenden Aktivitätseinträge des jeweiligen Ablieferers bewertet werden (Hinweis: dies ist nur sinnvoll möglich, wenn das Nuklidspektrum eines Ablieferers hinreichend bekannt und klein ist).

## 9.4.1 Ablieferer GFK/KfK

### 9.4.1.1 Informationen zu den NULL-Chargen

Dem Ablieferer GFK/KfK sind von den in Summe 4.429 abgelieferten Chargen 69 NULL-Chargen mit insgesamt 6.809 NULL-Gebinden zugeordnet, welche sich über zwei ELK (ELK 4/750 und ELK 1/750) verteilen (s. Tabelle 13). Die NULL-Chargen wurden zwischen 1967 und 1971 an den damaligen Betreiber der Schachanlage Asse II abgegeben. Informationen hierzu finden sich in den zugehörigen Fragebögen zu den jeweiligen ID-Nr. Eine Ausnahme stellt ID-Nr. 342 dar, zu welcher zum aktuellen Zeitpunkt keine Dokumentation vorliegt.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 53
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Tabelle 13: NULL-Chargen des Ablieferers GfK/KfK

ID-Nr.	Anzahl NULL-Gebinde von Gesamtgebundezahl pro ID-Nr.	Summe mittlere Aktivität der Null-Chargen gem. „Chargenmod“ [Bq]	Anteil „Aktivität [Ci]“ an Gesamtaktivität ASSEKAT	ELK	Anteil „Aktivität [Ci]“ an ELK-Aktivität	Verfügbare Dokumentation	Angaben zu Nuklidzusammensetzung	Angaben zu Einzelaktivitäten
297	1.434 von 1.434	8,28E+11	0,009 %	4/750	117 %	Fragebogen	Alpha-Nuklide in Spuren	10 bis 20 mCi, bzw. 1 mCi bzw. 10 mCi/Fass (je nach Fasstyp)
323	1.030 von 1.030	7,62E+11	0,009 %	1/750	0,1 %	Fragebogen	Alpha-Nuklide in geringer Konzentration	im Mittel 200 mCi/Fass
		1,11E+12		4/750	57 %			
324	900 von 900	1,16E+13	0,013 %	1/750	0,2 %	Fragebogen	Alpha-Nuklide in Spuren	max. 100 bis max. 200 mCi/Fass
334	1.573 von 1.573	1,11E+12	0,132 %	1/750	0,6 %	Fragebogen	Alpha-Nuklide in Spuren	k. A.
		1,27E+12		4/750	1.179 %			
335	150 von 150	8,28E+11	0,013 %	1/750	0,2 %	Fragebogen	Alpha-Nuklide in Spuren	max. 200 mCi/Fass
342	1.722 von 1.722	7,62E+11	0,014 %	4/750	181 %	nicht verfügbar	nicht verfügbar	nicht verfügbar
<b>Σ</b>	<b>6.809</b>	<b>1,67E+13</b>	<b>0,2 %</b>					

Insgesamt beträgt die vernachlässigte mittlere Aktivität („Aktivität [Ci]“) 1,67E+13 Bq, dies entspricht ca. 0,2 % der Gesamtaktivität der insgesamt eingelagerten Abfälle zum Stichtag 01.01.1980.

Der Anteil von „Aktivität [Ci]“ an den jeweiligen Gesamtaktivitäten pro ELK beträgt insgesamt ca. 1,1 % (ELK 1/750) bzw. 1.533 % (ELK 4/750) (s. Tabelle 12 und Tabelle 13). Der sehr hohe Prozentsatz für die ELK 4/750 begründet sich darin, dass von den dort insgesamt eingelagerten 6.340 Gebinden nur für 914 Gebinde (ca. 14 % der ELK) hinreichende Informationen vorliegen, für welche mittels PAI eine Aktivität berechnet werden kann (s. Kapitel 9.4.7). Alle übrigen Gebinde werden nicht berücksichtigt.

Gemäß [10] sind alle Abfälle dieses Ablieferers, welche vor Inbetriebnahme der WAK abgegeben wurden, im Hinblick auf das Aktivitätsinventar vernachlässigbar. Dies betrifft die folgenden 4.186 Gebinde (eingelagert 1967 und 1969):

- 3.696 NULL-Gebinde in ELK 4/750 aus der Zeit vor Inbetriebnahme der WAK: Es liegen keine Informationen bzgl. Nuklidzusammensetzung vor, daher ist auch keine Auswertung möglich. Bezogen auf das Gesamtinventar der insgesamt von GfK/KfK abgegebenen Abfälle ist die nicht berücksichtigte Aktivität mit 2,5E+12 Bq vernachlässigbar.
- 490 NULL-Gebinde in ELK 1/750 aus der Zeit vor Inbetriebnahme der WAK: Es liegen keine Informationen bzgl. Nuklidzusammensetzung vor, daher ist auch keine Auswertung möglich. Bezogen auf das Gesamtinventar der insgesamt von GfK/KfK abgegebenen Abfälle ist die nicht berücksichtigte Aktivität mit 3,6E+11 Bq vernachlässigbar.

In den Jahren 1970 und 1971 wurden weitere 2.623 NULL-Gebinde aus der Zeit vor Inbetriebnahme der WAK (900 NULL-Gebinde) sowie aus der WAK-Kampagne „Uranbetrieb“ (1.723 NULL-Gebinde) ohne hinreichende Informationen zur Nuklidzusammensetzung eingelagert:

- 1.124 NULL-Gebinde der WAK-Kampagne „Uranbetrieb“ in ELK 4/750 mit 8,3E+12 Bq (1.176 % des ELK-Inventars)

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 54
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

- 900 NULL-Gebinde der WAK-Kampagne „Vorbetriebsphase“ und 599 NULL-Gebinde der WAK-Kampagne „Uranbetrieb“ in ELK 1/750 mit  $5,6E+12$  Bq (1 % des ELK-Inventars)

In einem Schreiben der WAK vom 22.12.1999 an Herrn Gerstmann (zitiert in [10]) wird für die 1.723 NULL-Gebinde aus der Kampagne „Uranbetrieb“ angegeben, dass es sich hierbei um „reines, abgereichertes Uranylнитrat“ handelt mit 0,51 Gew.-% U-235 und 99,54 Gew.-% U-238. Weitere Nuklid- oder Isotopendaten stehen gemäß dem Schreiben nicht zur Verfügung.

### 9.4.1.2 Hinweise zu kernmaterialhaltigen NULL-Chargen

Für die 4.186 NULL-Gebinde der Kampagnen „Vorbetriebsphase“ [10] und „Uranbetrieb“ wurde kein Kernmaterial deklariert. Eine zusätzliche Überprüfung der Einlagerungsdokumentation der zugehörigen Chargen konnte diese Aussage bestätigen (s. Kapitel 9.4.1.1).

Auch in [3] wurden keine Lücken identifiziert, welche Hinweise darauf geben, dass die NULL-Chargen des Ablieferers GFK/KfK nicht berücksichtigtes Kernmaterial enthalten könnten.

### 9.4.1.3 Bewertung des Einflusses der NULL-Chargen auf das Gesamtinventar

Die Nuklidzusammensetzungen berechneter Chargen weisen ein großes Spektrum auf [10], sodass den NULL-Chargen dieses Ablieferers kein typisches Nuklidinventar (im Sinne einer Nuklidzusammensetzung und nuklidspezifischen Aktivität) zugeordnet werden kann. Eine Ableitung von Nuklidverhältnissen für eine konservative Aktivitätsabschätzung oder eine Bewertung der Relevanz der Nuklide auf Basis der Halbwertszeiten ist somit für den größten Teil der NULL-Gebinde nicht sinnvoll möglich.

Eine Ausnahme bilden die NULL-Gebinde der WAK-Kampagne „Uranbetrieb“. Auf Basis der Angabe in [10] (s. Kapitel 9.4.1.1) kann für diese NULL-Gebinde überschlägig abgeschätzt werden, welchen Aktivitätsbeitrag pro Behälter U-235 und U-238 hierbei ausmachen (s. Tabelle 14).

Tabelle 14: Überschlägige Aktivitätsabschätzung für NULL-Gebinde der WAK-Kampagne „Uranbetrieb“

Uranisotop <sup>1)</sup>	massebezogene Aktivität [Bq/g]	Gew.-% pro Behälter	Gesamtaktivität pro Behälter [Bq] zum Ablieferungstag <sup>2)</sup>	Nuklidspezifische Aktivität pro Behälter zum Ablieferungstag [Bq]
U-235	8,00E+04	0,51	7,4E+09	2,37E+08
U-238	1,24E+04	99,54	7,4E+09	7,16E+09

1) Konservativ wird die Gesamtaktivität nur auf die Nuklide U-235 und U-238 verteilt.

2) gem. „Chargen-mod“ bzw. Fragebögen zu ID-Nr. 334 und 335, einheitliche Angabe über alle 1.723 NULL-Gebinde der WAK-Kampagne „Uranbetrieb“.

Gemäß der Aktivitätsabschätzung in Tabelle 14 ergeben sich für die NULL-Chargen folgende Gesamtaktivitäten pro Nuklid und ELK bzw. ID-Nr. zum Zeitpunkt der Anlieferung (1970/1971):

- ELK 1/750 (599 NULL-Gebinde):  $1,42E+11$  Bq für U-235 und  $4,29E+12$  Bq für U-238. Bezogen auf die ID-Nr. 334 (449 NULL-Gebinde) entfallen hierauf  $1,06E+11$  Bq U-235 und  $3,22E+12$  Bq U-238; bezogen auf die ID-Nr. 335 (150 NULL-Gebinde) entfallen hierauf  $3,55E+10$  Bq U-235 und  $1,07E+12$  Bq U-238.
- ELK 4/750 (1.124 NULL-Gebinde der ID-Nr. 334):  $2,66E+11$  Bq für U-235 und  $8,05E+12$  Bq für U-238.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 55
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Im Verhältnis zu den berechneten Aktivitäten zum Stichtag 01.01.1980 macht die gem. „Chargenmod“ dokumentierte Aktivität „Aktivität [Ci]“ jedoch insgesamt einen geringen Anteil aus:

- Anteil „Aktivität [Ci]“ an Gesamtaktivität = 0,19 %
- Anteil „Aktivität [Ci]“ an der abliefererspezifischen Gesamtaktivität = 0,21 %
- Anteil „Aktivität [Ci]“ an ELK-Aktivität: 1,1 % (ELK 1/750) und 1.533 % (ELK 4/750).

Die mittlere Aktivität der NULL-Chargen des Ablieferers GFK/KfK ist somit mit einem Anteil von < 1 % bezogen auf das Gesamtinventar vernachlässigbar. Auf die Datenlage der ELK 4/750 wird in Kapitel 9.4.7 eingegangen.

## 9.4.2 Ablieferer KFA

### 9.4.2.1 Informationen zu den NULL-Chargen

Dem Ablieferer KFA sind von den in Summe 1.356 abgelieferten Chargen 25 NULL-Chargen mit insgesamt 497 NULL-Gebinden zugeordnet, welche sich über zwei ELK (ELK 4/750 und ELK 1/750) verteilen (s. Tabelle 15). Diese wurden zwischen 1968 und 1971 an den damaligen Betreiber der Schachanlage Asse II abgegeben.

Tabelle 15: NULL-Chargen des Ablieferers KFA

ID-Nr.	Anzahl NULL-Gebinde von Gesamtgebinderzahl pro ID-Nr.	Summe mittlere Aktivität der Null-Chargen gem. „Chargenmod“ [Bq]	Anteil „Aktivität [Ci]“ an Gesamtaktivität ASSEKAT	ELK	Anteil „Aktivität [Ci]“ an ELK-Aktivität	Verfügbare Dokumentation	Angaben zu Nuklidzusammensetzung	Angaben zu Einzelaktivitäten
307	72 von 72	1,69E+10	0,0002 %	4/750	2,4 %	Fragebogen	keine Alpha-Nuklide	keine
311	140 von 140	5,82E+10	0,0007 %	1/750	0,011 %	Fragebogen	keine	keine
312	75 von 75	2,37E+10	0,0003 %	1/750	0,004 %	Fragebogen	keine	keine
310	70 von 70	2,58E+10	0,0003 %	1/750	0,005 %	Fragebogen	keine	keine
340	140 von 140	9,54E+09	0,0001 %	1/750	0,002 %	Fragebogen	keine	keine
<b>Σ</b>	<b>497</b>	<b>1,34E+11</b>	<b>0,002 %</b>					

Insgesamt beträgt die vernachlässigte mittlere Aktivität („Aktivität [Ci]“) 1,34E+11 Bq. Dies entspricht ca. 0,002 % der Gesamtaktivität der insgesamt eingelagerten Abfälle zum Stichtag 01.01.1980.

Der Anteil von „Aktivität [Ci]“ an den jeweiligen Gesamtaktivitäten pro ELK beträgt 0,02 % (ELK 1/750) bzw. 2,4 % (ELK 4/750) (s. Tabelle 12 und Tabelle 15).

### 9.4.2.2 Hinweise zu kernmaterialhaltigen NULL-Chargen

Die den ID-Nr. zugehörigen NULL-Chargen des Ablieferers KFA sind ausschließlich NULL-Chargen, d. h. keine ID-Nr. -Charge enthält neben NULL-Gebinden auch einzelne berechnete Chargen (s. Spalte 2 in Tabelle 15). In der Dokumentation zu den angelieferten kernmaterialhaltigen Chargen werden die NULL-Chargen nicht aufgeführt.

Auch in [3] wurden keine Lücken identifiziert, welche Hinweise darauf geben, dass die NULL-Chargen des Ablieferers KFA nicht berücksichtigtes Kernmaterial enthalten könnten.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 56
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

### 9.4.2.3 Bewertung des Einflusses der NULL-Chargen auf das Gesamtinventar

Die Nuklidzusammensetzungen berechneter Chargen des Ablieferers KFA weisen wie bei dem Ablieferer GFK/KfK ein großes Spektrum auf [10], sodass den NULL-Chargen dieses Ablieferers kein typisches Nuklidinventar (im Sinne einer Nuklidzusammensetzung und nuklidspezifischen Aktivität) zugeordnet werden kann. Angaben hierzu sind auf den Fragebögen nicht vorhanden. Eine Ableitung von Nuklidverhältnissen für eine konservative Aktivitätsabschätzung oder eine Bewertung der Relevanz der Nuklide auf Basis der Halbwertszeiten ist somit auch hier nicht sinnvoll möglich.

Im Verhältnis zu den berechneten Aktivitäten zum Stichtag 01.01.1980 macht die gem. „Chargenmod“ dokumentierte Aktivität „Aktivität [Ci]“ des Ablieferers KFA insgesamt einen geringen Anteil aus:

- Anteil „Aktivität [Ci]“ an Gesamtaktivität = 0,002 %
- Anteil „Aktivität [Ci]“ an der abliefererspezifischen Gesamtaktivität = 0,10 %
- Anteil „Aktivität [Ci]“ an ELK-Aktivität: 0,02 % (ELK 1/750) und 2,4 % (ELK 4/750)

Die mittlere Aktivität der NULL-Chargen des Ablieferers KFA ist somit vernachlässigbar.

### 9.4.3 Ablieferer FRM

#### 9.4.3.1 Informationen zu den NULL-Chargen

Dem Ablieferer FRM sind von den in Summe 27 abgelieferten Chargen 10 NULL-Chargen mit insgesamt 137 NULL-Gebinden zugeordnet, welche in der ELK 8/750 eingelagert wurden (s. Tabelle 16). Diese wurden 1975 an den damaligen Betreiber der Schachanlage Asse II abgegeben.

Tabelle 16: NULL-Chargen des Ablieferers FRM

ID-Nr.	Anzahl NULL-Gebinde von Gesamtgebundenzahl pro ID-Nr.	Summe mittlere Aktivität der Null-Chargen gem. „Chargenmod“ [Bq]	Anteil „Aktivität [Ci]“ an Gesamtaktivität ASSEKAT	ELK	Anteil „Aktivität [Ci]“ an ELK-Aktivität	Verfügbare Dokumentation	Angaben zu Nuklidzusammensetzung	Angaben zu Einzelaktivitäten
2384	137 von 140	1,94E+11	0,002 %	8/750	0,13 %	Begleitliste	Beta-/Gamma-Nuklide	ja, s. Abbildung 20

Insgesamt beträgt die vernachlässigte mittlere Aktivität („Aktivität [Ci]“) 1,94E+11 Bq. Dies entspricht ca. 0,002 % der Gesamtaktivität der insgesamt eingelagerten Abfälle zum Stichtag 01.01.1980.

Der Anteil von „Aktivität [Ci]“ an der Gesamtaktivität der ELK 8/750 beträgt 0,13 % (s. Tabelle 12 und Tabelle 16).

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 57
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

002384

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

Lfd. Nr.	200 l Behälter			Beschreibung der Abfallstoffe			Mittlere Aktivität Ci/Behälter	Maximale Dosisleistung (mrem/h)	
	Art*)	Abfall- kategorie **)	Dosis- leistungs- kategorie ***)	Art des radioakt. Abfalls (z.B. Filter, Papier, verfestigte Fällfällsärme)	Art der Behandlung (z.B. Bindemittel)	Nuklide (ersatzweise Angabe etw. Alpha, Beta- Gammastrahler)		Masse und Art der Kernbrennstoffe	an der Außenseite
1-52	RR	A	1	Papier Metall	Beton	B,γ-Strahler	0.020	80	7
53-56	"	"	1	Ionentauscher- Harze Papier	"	B,γ,M.f.p.	0.005	< 10	< 1
57-99	"	"	1	Metall	"	B,γ	0.025	100	10
100-103	RB	"	1	"	"	"	0.025	80	10
104-108	RR	"	2,3	"	"	"	0.160	200	20
109-115	"	"	3	"	"	"	0.300	500	30
116-117	"	"	1	Öl, gebunden	"	"	0.005	< 10	< 1
118-120	"	"	1	Papier Metall	"	(+10µCiPo-210) je 5g	0.050	60	5
121-123	"	"	1	"	"	B,γ,M.f.p. U-235	0.005	< 10	< 1
124-139	"	"	1	Ionentauscher- Harze	"	B,γ,M.f.p.	0.005	10	1
140-144	"	"	1	Fliesen, PVC	-	B,γ	0.005	< 10	< 1

*Fässer Nr. 144-147 nicht abgeliefert*

**Abkürzungen:**

\*) BT = Blechtonnel  
BB = Blechtonnel allseitig mit 5 cm Beton ausgekleidet  
RS = Rollstreifenfass  
RB = Rollstreifenfass allseitig mit 5 cm Beton ausgekleidet  
RR = Rollstreifenfass  
RE = Rollstreifenfass nach 2e der Bedingungen  
\*\*) Einteilung in Abfallkategorie A, B, C nach Anlage A der Bedingungen

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

Der Ablieferung der oben beschriebenen schwachradioaktiven Abfallstoffe wird zugestimmt.  
Die Abfallstoffe müssen am 17.4.75 ab 6<sup>00</sup> Uhr an der Schachanlage Asse angeliefert werden.  
Remlingen, den 20.3.75

Die Übernahme der oben beschriebenen schwachradioaktiven Abfallstoffe am 17.4.75 wird bestätigt.  
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH  
Institut für Tieflagerung - Technische Abteilung  
Schachanlage Asse II  
3341 Remlingen über Wolfenbüttel  
Telefon 05330/455  
Remlingen, den 17.4.75

Hiermit wird erklärt:  
1. Die Bedingungen für die Lagerung schwachradioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH - München sind eingehalten.  
2. Die Beförderung erfolgt durch: Bundesbahn  
Strahlenschutzverantwortlicher: [Signature]  
Unterschrift:  
Anschrift des Ablieferers: Reaktorstation Garching der Technischen Universität München  
Telefon 089/32091  
Garching, den 17.3.1975  
Dr. L. Koester  
Rechtsverbindliche Unterschrift  
Eventl. Rückfragen an: Dipl. Ing. Bendler  
Sachbearbeiter  
Gewünschter Ablieferungstermin: 17.4.1975

Abbildung 20: Begleitliste zur ID-Nr. 2384 des Ablieferers FRM

Für neun der zehn NULL-Chargen liegen keine verwertbaren Informationen zur Nuklidzusammensetzung vor. Die Angaben, dass Beta- und Gamma-Nuklide vorliegen, sowie der nicht näher definierte Hinweis „M.f.p.“ wurden in der Tabelle „Nuklide“ mit dem Hinweis „Unsinn“ versehen und somit in PAI nicht berücksichtigt.

Lediglich für die Chargen-Nr. 14284 zur ID-Nr. 2384 (s. Lfd. Nr. 118-120 in Abbildung 20) wird die Aktivität von Po-210 berechnet.

### 9.4.3.2 Hinweise zu kernmaterialhaltigen NULL-Chargen

Die NULL-Charge Nr. 14285 (s. Lfd. Nr. 121-123 in Abbildung 20) enthält gem. Begleitliste U-235, welches jedoch der Chargen-Nr. 14284 zugeteilt wird (Berechnungsroutine „FRM\_3a“).

Für die übrigen Chargen des Ablieferers FRM liegen keine Hinweise auf Kernmaterial vor.

Auch in [3] wurden keine Lücken identifiziert, welche Hinweise darauf geben, dass weitere NULL-Chargen des Ablieferers FRM nicht berücksichtigtes Kernmaterial enthalten könnten.

### 9.4.3.3 Bewertung des Einflusses der NULL-Chargen auf das Gesamtinventar

Im Verhältnis zu den berechneten Aktivitäten zum Stichtag 01.01.1980 macht die gem. „Chargenmod“ dokumentierte Aktivität „Aktivität [Ci]“ des Ablieferers FRM insgesamt einen geringen Anteil aus:

- Anteil „Aktivität [Ci]“ an Gesamtaktivität = 0,002 %
- Anteil „Aktivität [Ci]“ an ELK-Aktivität: 0,13 % (ELK 8/750)

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 58
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Der Anteil von „Aktivität [Ci]“ an der abliefererspezifischen Gesamtaktivität beträgt jedoch ca. 7.458 % (berechnet wurden 2,6E+09 Bq zum Stichtag: 01.01.1980), weshalb die vorliegenden Angaben zur Nuklidzusammensetzung näher betrachtet werden:

Die berechneten Chargen, welche von FRM abgeliefert wurden, enthalten Angaben zu folgenden Nukliden:

- Po-210 (in Spuren)
- Ra-226 (in Spuren)
- U-235 (in Spuren)

Die Ableitung eines Nuklidvektors auf Basis der berechneten Chargen ist jedoch nicht sinnvoll, da

- Po-210 eine geringe HWZ von  $< 1$  a besitzt und somit die verbleibenden Aktivitäten nicht relevant i. S. d. Planungen für die Rückholung sind,
- es keine weiteren Hinweise auf U-235 bzw. Ra-226 in den NULL-Chargen gibt und
- keine weiteren Abfälle von FRM in diesem Zeitraum abgegeben wurden, sodass keine konservative Aussage auf Basis vergleichbarer Abfall- und Nuklidzusammensetzungen möglich ist.

Die mittlere Aktivität der NULL-Chargen des Ablieferers FRM kann somit weiterhin als vernachlässigbar eingestuft werden.

## 9.4.4 Ablieferer HOE

### 9.4.4.1 Informationen zu den NULL-Chargen

Dem Ablieferer HOE sind von den in Summe 110 abgelieferten Chargen 80 NULL-Chargen mit insgesamt 310 NULL-Gebinden zugeordnet, welche sich über drei ELK (ELK 2/750NA2, ELK 4/750 und ELK 1/750) verteilen (s. Tabelle 17). Diese wurden zwischen 1967 und 1978 an den damaligen Betreiber der Schachanlage Asse II abgegeben.

Tabelle 17: NULL-Chargen des Ablieferers HOE

ID-Nr.	Anzahl NULL-Gebinde von Gesamtgebundenzahl pro ID-Nr.	Summe mittlere Aktivität der Null-Chargen gem. „Chargen-mod“ [Bq]	Anteil „Aktivität [Ci]“ an Gesamtaktivität ASSEKAT	ELK	Anteil „Aktivität [Ci]“ an ELK-Aktivität	Verfügbare Dokumentation	Angaben zu Nuklidzusammensetzung	Angaben zu Einzelaktivitäten
306	119 von 143	8,81E+10	0,001 %	4/750	12,5 %	Fragebogen	Beta-/Gamma-Nuklide	„Aktivität liegt zwischen 0 und 20 mCi“, Maximalangabe von 20 mCi wurde in „Chargen-mod“ für alle Fässer eingetragen
322	39 von 39	2,16E+11	0,002 %	1/750	0,04 %	Fragebogen	k. A.	Aktivitäten pro Fass angegeben
2786	63 von 63	3,40E+10	0,0004 %	2/750NA2	0,01 %	Begleitliste	Beta-/Gamma-Nuklide	Aktivitäten pro Fass angegeben
2787	37 von 37	2,15E+10	0,0002 %	2/750NA2	0,009 %	Begleitliste	Beta-/Gamma-Nuklide	Aktivitäten pro Fass angegeben

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 59
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

ID-Nr.	Anzahl NULL-Gebinde von Gesamtgebundezahl pro ID-Nr.	Summe mittlere Aktivität der Null-Chargen gem. „Chargen-mod“ [Bq]	Anteil „Aktivität [Ci]“ an Gesamtaktivität ASSEKAT	ELK	Anteil „Aktivität [Ci]“ an ELK-Aktivität	Verfügbare Dokumentation	Angaben zu Nuklidzusammensetzung	Angaben zu Einzelaktivitäten
2960	9 von 12	6,66E+08	0,00001 %	2/750N A2	0,0003 %	Begleitliste	Beta-Nuklide	Aktivitäten pro Fass angegeben
2961	32 von 51	1,03E+10	0,0001 %	2/750N A2	0,004 %	Begleitliste	Beta-/Gamma-Nuklide	Aktivitäten pro Fass angegeben
2962	11 von 31	7,77E+09	0,0001 %	2/750N A2	0,003 %	Begleitliste	Beta-/Gamma-Nuklide	Aktivitäten pro Fass angegeben
<b>Σ</b>	<b>310</b>	<b>3,78E+11</b>	<b>0,004 %</b>					

Insgesamt beträgt die vernachlässigte mittlere Aktivität („Aktivität [Ci]“) 3,78E+11 Bq, dies entspricht ca. 0,004 % der Gesamtaktivität der insgesamt eingelagerten Abfälle zum Stichtag 01.01.1980.

Der Anteil von „Aktivität [Ci]“ an den jeweiligen Gesamtaktivitäten pro ELK beträgt 12,5 % (ELK 4/750), 0,04 % (ELK 1/750) bzw. 0,03 % (ELK 2/750NA2) (s. Tabelle 12 und Tabelle 17).

#### 9.4.4.2 Hinweise zu kernmaterialhaltigen NULL-Chargen

Gemäß Einlagerungsdokumentation wurden vom Ablieferer HOE keine kernmaterialhaltigen Chargen zur Einlagerung abgegeben. Somit ist auch für die NULL-Chargen auszuschließen, dass für diese in der Bilanzierung nicht berücksichtigtes Kernmaterial vorliegt.

#### 9.4.4.3 Bewertung des Einflusses der NULL-Chargen auf das Gesamtinventar

Im Verhältnis zu der berechneten Gesamtaktivität über alle Ablieferer zum Stichtag 01.01.1980 macht die gem. „Chargen-mod“ dokumentierte Aktivität „Aktivität [Ci]“ mit 0,004 % einen geringen Anteil aus.

Der Anteil von „Aktivität [Ci]“ an der abliefererspezifischen Gesamtaktivität beträgt jedoch ca. 1.551 %, weshalb die einzelnen ID-Nr. wie folgt zu bewerten sind:

Die NULL-Chargen der ID-Nr. 2786, 2787, 2960 bis 2962 (s. Tabelle 17) sind aufgrund ihres geringen Anteils an der Gesamtaktivität ( $\leq 0,0004$  %) sowie an der Gesamtaktivität der ELK 2/750NA2 (0,03 %) vernachlässigbar.

Die NULL-Chargen der ID-Nr. 322 sind aufgrund ihres geringen Anteils an der Gesamtaktivität (0,002 %) sowie an der Gesamtaktivität der ELK 1/750 (0,04 %) ebenfalls vernachlässigbar.

Im Verhältnis zur Gesamtaktivität weisen die NULL-Chargen der ID-Nr. 306 mit 0,001 % auch einen geringen Anteil auf.

Hingegen ist eine Ableitung eines Nuklidvektors auf Basis der berechneten Chargen für 158 NULL-Gebinde der ID-Nr. 306 in der ELK 4/750 sinnvoll möglich, da

- die Nuklidzusammensetzung des Ablieferers bekannt ist,
- die Abfallarten aufgrund der damaligen Laboraktivitäten vergleichbar sind (Schlämme, Lösungen, Laborabfälle),
- die Abfälle innerhalb eines gleichen Zeitraumes abgegeben wurden.

Eine überschlägige Aktivitätsabschätzung hierzu erfolgt nachfolgend:

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 60
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Alle 54 Chargen der ID-Nr. 306 enthalten gem. Fasskontrollbuch schwach-radioaktive Abfälle aus Radiochemischen Laboratorium der Farbwerke Hoechst AG in Frankfurt a.M.

Die zugehörigen 143 Fässer sind tabellarisch auf dem Fragebogen aufgeführt, u. a. mit Angabe von Abfallart (123 Fässer mit zementiertem Dekontaminationsschlamm, 20 Fässer mit gepressten Glas- und Papierabfällen), Masse, Radionukliden bzw. Strahlungsarten und maximaler Dosisleistung. Zudem wird dokumentiert, dass die einzelnen Fässer Aktivitäten zwischen 0 und 20 mCi enthalten, jedoch wird den Einzelfässern keine Aktivität zugeordnet. Für alle Fässer dieser Chargen wurde daher in „Aktivität [Ci]“ konservativ der Maximalwert von 20 mCi eingetragen (die in einem separaten Feld enthaltene Bedingung „<“ wird von PAI generell nicht berücksichtigt).

Für diejenigen Chargen der ID-Nr. 306, welche berechnet werden und somit keine NULL-Chargen darstellen, wurden folgende Nuklide dokumentiert:

- H-3 (HWZ ~12,3 a)
- S-35 (HWZ 87,2 d)
- C-14 (HWZ ~5,7E+3 a)
- Cs-137 (HWZ ~ 30 a)
- Se-75 (HWZ ~119 d)
- Sr-90 (HWZ ~28,8 a)
- I-131 (HWZ ~ 8 d)
- Au-198 (HWZ 2,7 d)

Alpha-Nuklide werden ausgeschlossen.

In [15] werden folgende Hinweise zu den Nuklidzusammensetzungen des radiochemischen Laboratoriums des Ablieferers HOE gegeben, welche mit den Angaben in der ASSEKAT übereinstimmen:

*„Ein Gebäude ist als Betalabor ausgelegt zum Arbeiten mit 3H, 14C und 35S für pharmakokinetische, biologische und anwendungstechnische Untersuchungen. Das andere Gebäude ist für Arbeiten mit Gammastrahlern eingerichtet, hauptsächlich für die Produktion von Radiopharmaka und die dazugehörige Forschung. Hier werden die J- und Hg-Isotope, 198Au, 99Mo/Tc und andere gammastrahlende Nuklide verarbeitet. Der Aktivitätsmaßstab reicht in beiden Gebäuden von Curie-Mengen bei der Synthese bis zu nCi-Mengen bei biologischen Untersuchungen.“*

Die Aktivitätsabschätzung der NULL-Chargen folgt dem überschlägigen Ansatz des PAI („Public Function EN(index)“) für Einzelnuclide (EN) zum Ausführungstag (AT), wobei die Aktivität der Charge gem. „Aktivität [Ci]“ (Akt\_Charge) durch die Anzahl der in der Rohdaten-Tabelle „Nuklide“ als sinnvoll deklarierten Nuklide ohne Aktivitätsangabe (AZRestnuclide) geteilt wird:

$$Akt_{AT}(index) = Akt\_Charge / AZRestnuclide(Nr\_Charge)$$

Die Eingangsdaten und die Ergebnisse der Aktivitätsabschätzung für die ID-Nr. 306 sind in Tabelle 18 dargestellt.

Unter der Annahme, dass alle Chargen jeweils die 4 Nuklide H-3, C-14, Sr-90 und Cs-137 gleichverteilt enthalten, ergibt sich eine zerfallskorrigierte Aktivität für die 119 NULL-Gebinde zur ID-Nr. 306 von 6,61E+10 Bq zum Stichtag 01.01.1980. Unter der Annahme, dass alle 199 NULL-Gebinde nur eins der vier Nuklide enthalten, wird eine Aktivität von maximal 8,79E+10 Bq berechnet (für das Nuklid mit der größten Halbwertszeit C-14).

Im Verhältnis zur Gesamtaktivität macht diese Aktivität einen Anteil von ca. 0,0008 % (4 Nuklide) bzw. 0,001 % (nur C-14) aus und ist somit vernachlässigbar.

Tabelle 18: Zerfallskorrigierte Aktivitätsabschätzung für 119 NULL-Gebinde der ID-Nr. 306 zum Stichtag 01.01.1980:

Nuklide berechneter Chargen gem. „Nuklide“	Halbwertszeit	„Aktivität [Ci]“ gem. „Chargenmod“ pro Behälter [Bq]	Relevantes Nuklid	Akt_AT (index): Gleichverteilt auf 4 Nuklide [Bq]	Akt_AT (index): Verteilt auf 1 Nuklid [Bq]	Ausführungstag (AT)	Stichtag (ST)	Aktivität (ST) pro Behälter: 4 Nuklide [Bq]	Aktivität (ST) zu ID-Nr. 306: 4 Nuklide [Bq]	Aktivität (ST) pro Behälter: 1 Nuklid [Bq]	Aktivität (ST) zu ID-Nr. 306: 1 Nuklid [Bq]
H-3	12,338 a	7,40E+08	ja	1,85E+08	7,40E+08	31.10.1967	01.01.1980	9,33E+07	1,11E+10	3,73E+08	4,44E+10
C-14	5.703,767 a	7,40E+08	ja	1,85E+08	7,40E+08	31.10.1967	01.01.1980	1,85E+08	2,20E+10	7,39E+08	8,79E+10
Sr-90	28,819 a	7,40E+08	ja	1,85E+08	7,40E+08	31.10.1967	01.01.1980	1,38E+08	1,64E+10	5,52E+08	6,57E+10
Cs-137	30,067 a	7,40E+08	ja	1,85E+08	7,40E+08	31.10.1967	01.01.1980	1,40E+08	1,66E+10	5,59E+08	6,65E+10
S-35	87,250 d	-	Ausschluss aufgrund geringer HWZ (< 1a)	-	-	-	-	-	-	-	-
Se-75	119,781 d	-	Ausschluss aufgrund geringer HWZ (< 1a)	-	-	-	-	-	-	-	-
I-131	8,023 d	-	Ausschluss aufgrund geringer HWZ (< 1a)	-	-	-	-	-	-	-	-
Au-198	2,696 d	-	Ausschluss aufgrund geringer HWZ (< 1a)	-	-	-	-	-	-	-	-
								<b>Summe</b>	<b>6,61E+10</b>	-	-
								<b>Min</b>	-	<b>3,73E+08</b>	<b>4,44E+10</b>
								<b>Max</b>	-	<b>7,39E+08</b>	<b>8,79E+10</b>

**Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachtanlage ASSE II eingelangerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)**

Projekt	PSP-Element	Funktion / Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNN	NNNAANN	AAANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 61



**BGE**  
BUNDESGESSELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 62
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

## 9.4.5 Ablieferer GSF Han

### 9.4.5.1 Informationen zu den NULL-Chargen

Dem Ablieferer GSF Han sind von den in Summe 121 abgelieferten Chargen 55 NULL-Chargen mit insgesamt 107 NULL-Gebinden zugeordnet, welche sich über sechs ELK (ELK 1/750, ELK 2/750NA2, ELK 4/750, ELK 8/750, ELK 10/750 und ELK 12/750) verteilen (s. Tabelle 19). Diese wurden zwischen 1969 und 1978 an den damaligen Betreiber der Schachanlage Asse II abgegeben.

Tabelle 19: NULL-Chargen des Ablieferers GSF Han

ID-Nr.	Anzahl NULL-Gebinde von Gesamtgebundenzahl pro ID-Nr.	Summe mittlere Aktivität der Null-Chargen gem. „Chargenmod“ [Bq]	Anteil „Aktivität [Ci]“ an Gesamtaktivität ASSEKAT	ELK	Anteil „Aktivität [Ci]“ an ELK-Aktivität	Verfügbare Dokumentation	Angaben zu Nuklidzusammensetzung	Angaben zu Einzelaktivitäten
331	15 von 16	5,55E+10	0,001 %	1/750	0,01 %	Fragebogen	Ra-226, Po-210	nein
336	14 von 14	5,18E+09	0,0001 %	4/750	0,7 %	Fragebogen	<b>kein</b> Ra-226, Po-210 oder alpha-Strahler	nein
1928	12 von 12	9,26E+08	0,00001 %	8/750	0,0006 %	Begleitliste	beta, gamma, 1x alpha	„einige mCi“
1930	12 von 12	2,22E+09	0,00003 %	12/750	0,0006 %	Begleitliste	beta, gamma	„einige mCi“
1931	12 von 12	2,41E+09	0,00003 %	1/750	0,0004 %	Begleitliste	beta, gamma	„einige mCi“
2580	10 von 10	1,85E+09	0,00002 %	10/750	0,01 %	Begleitliste	beta, gamma, 1x alpha	„einige mCi“
2774	10 von 10	1,85E+09	0,00002 %	2/750NA2	0,0007 %	Begleitliste	beta, gamma	„einige mCi“
2775	3 von 3	5,55E+08	0,00001 %	2/750NA2	0,0002 %	Begleitliste	beta, gamma	„einige mCi“
2776	12 von 12	2,22E+09	0,00003 %	2/750NA2	0,0009 %	Begleitliste	beta, gamma, 1x alpha	„einige mCi“
2957	1 von 6	1,85E+08	0,000002 %	2/750NA2	0,0001 %	Begleitliste	beta, gamma	„einige mCi“
2959	10 von 10	8,33E+08	0,00001 %	2/750NA2	0,0003 %	Begleitliste	beta, gamma, 1x alpha	Aktivitäten pro Fass angegeben
<b>Σ</b>	<b>107</b>	<b>7,37E+10</b>	<b>0,0009 %</b>					

Insgesamt beträgt die vernachlässigte mittlere Aktivität („Aktivität [Ci]“) 7,37E+10 Bq. Dies entspricht ca. 0,0009 % der Gesamtaktivität der insgesamt eingelagerten Abfälle zum Stichtag 01.01.1980.

Der Anteil von „Aktivität [Ci]“ an den jeweiligen Gesamtaktivitäten pro ELK beträgt für alle ELK < 1 % (s. Tabelle 12 und Tabelle 19).

### 9.4.5.2 Hinweise zu kernmaterialhaltigen NULL-Chargen

Gemäß der Einlagerungsdokumentation und der PAI-Berechnung wurden vom Ablieferer GSF Han sechs kernmaterialhaltige Chargen abgegeben: In ELK 12/750 sind radiumhaltige Abfälle (Bildung von Th-228) eingelagert worden und in ELK 2/750NA2 radium-, thorium- und uranhaltige Abfälle. Darüber hinaus gibt es keine Hinweise auf weitere kernmaterialhaltige Abfälle.

Auch in [3] wurden keine Lücken identifiziert, welche Hinweise darauf geben, dass die NULL-Chargen des Ablieferers GSF Han nicht berücksichtigtes Kernmaterial enthalten könnten.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 63
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

### 9.4.5.3 Bewertung des Einflusses der NULL-Chargen auf das Gesamtinventar

Aus den wenigen verfügbaren Angaben auf den Begleitlisten („einige mCi“, „µCi“, „beta/gamma-Strahler“) lassen sich keine über das in der Tabelle „Chargen-mod“ enthaltene Feld „Aktivität [Ci]“ hinausgehenden Rückschlüsse auf Nuklidvektoren und mittlere Aktivitätsangaben pro Behälter ziehen (s. Abbildung 21). Mit einem Anteil von ca. 0,0009 % an der Gesamtaktivität zum Stichtag 01.01.1980 sowie Anteilen < 0,001 % an den jeweiligen ELK-Aktivitäten ist die mittlere Aktivität der NULL-Chargen des Ablieferers GSF Han jedoch vernachlässigbar.

001928

Begleitliste

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

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

200 l Behälter				Beschreibung der Abfallstoffe			mittlere Aktivität	Maximale Dosisleistung (mrem/h)		Hiermit wird erklärt:
Lfd. Nr.	Art *)	Abfall-kategorie **)	Dosis-leistungs-kategorie ***)	Art des radioaktiven Abfalls (z. B. Filter, Papier, verfestigte Fällschlamm)	Art der Behandlung (z. B. Bindemittel)	Nuklide (ersatzweise Angabe, ob Alpha-, Beta-, Gammastrahler)	Ci/Behälter	an der Außenseite	in 1 m Abstand	
60	RE	A/B	1	Papier, PVC, Holz, Glas, Metalle	PÄ -Beutel	γ - β	einige mCi	15	1	1. Die Bedingungen für die Lagerung schwachradioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH - München sind eingehalten. 2. Die Beförderung erfolgt durch: <u>PKW</u> Dr. W. Kühn Strahlenschutzverantwortlicher:  Unterschrift Anschrift des Ablieferers: <b>GESELLSCHAFT FÜR STRAHLEN- U. UMWELTFORSCHUNG MBH MÜNCHEN INSTITUT FÜR STRAHLENBIOLOGIE Hannover, Herrenhäuser Straße 2</b>  Telefon <u>0511/ 762 2605</u> Hannover, den <u>20.12.74</u>  Rechtsverbindliche Unterschrift Eventl. Rückfragen an: <u>Dr. W. Kühn</u> Sachbearbeiter Gewünschter Ablieferungstermin: <u>Januar 75</u>
61	RE	A/B	1	dto.	"	"	"	15	1	
62	RE	A/B	1	"	"	"	"	0,2	0,1	
63	RE	A/B	1	"	"	"	"	50	1	
64	RE	A/B	1	"	"	" α	"	50	0,5	
65	RE	A/B	1	Erde	"	γ - β	µCi	NE	NE	
66	RE	A/B	1	"	"	"	"	NE	NE	
67	RE	A/B	1	"	"	"	"	0,1	NE	

Abbildung 21: Auszug aus der Begleitliste zu ID-Nr. 1982 des Ablieferers GSF Han

### 9.4.6 Ablieferer MPI

#### 9.4.6.1 Informationen zu den NULL-Chargen

Dem Ablieferer MPI sind von den in Summe 76 abgelieferten Chargen drei NULL-Chargen mit insgesamt 51 NULL-Gebinden zugeordnet, welche in der ELK 2/750NA2 eingelagert wurden (s. Tabelle 20). Diese wurden 1978 an den damaligen Betreiber der Schachanlage Asse II abgegeben.

Tabelle 20: NULL-Chargen des Ablieferers MPI

ID-Nr.	Anzahl NULL-Gebinde von Gesamtgebundenzahl pro ID-Nr.	Summe mittlere Aktivität der Null-Chargen gem. „Chargen-mod“ [Bq]	Anteil „Aktivität [Ci]“ an Gesamtaktivität ASSEKAT	ELK	Anteil „Aktivität [Ci]“ an ELK-Aktivität	Verfügbare Dokumentation	Angaben zu Nuklidzusammensetzung	Angaben zu Einzelaktivitäten
3112	2 von 2	3,70E10	0,0004 %	2/750NA2	0,01 %	Begleitliste	Beta-/Gamma-Nuklide	Gesamtaktivitätsangabe pro Behälter
3114	49 von 49	1,81E10	0,0002 %	2/750NA2	0,007 %	Begleitliste	Beta-Nuklide	Gesamtaktivitätsangabe pro Behälter
<b>Σ</b>	<b>51</b>	<b>5,51E+10</b>	<b>0,0006 %</b>					

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 64
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Insgesamt beträgt die vernachlässigte mittlere Aktivität („Aktivität [Ci]“) 5,51E+10 Bq. Dies entspricht ca. 0,0006 % der Gesamtaktivität der insgesamt eingelagerten Abfälle zum Stichtag 01.01.1980.

Der Anteil von „Aktivität [Ci]“ an der Gesamtaktivität der ELK 2/750NA2 beträgt 0,02 % (s. Tabelle 12 und Tabelle 20).

### 9.4.6.2 Hinweise zu kernmaterialhaltigen NULL-Chargen

Gemäß Einlagerungsdokumentation wurden vom Ablieferer MPI keine kernmaterialhaltigen Chargen zur Einlagerung abgegeben.

Auch in [3] wurde der Ablieferer MPI im Zusammenhang mit Kernmaterial nicht bewertet.

### 9.4.6.3 Bewertung des Einflusses der NULL-Chargen auf das Gesamtinventar

Aufgrund der geringen Anzahl an NULL-Gebinden des Ablieferers MPI, dem geringen Anteil von ca. 0,0006 % an der Gesamtaktivität zum Stichtag 01.01.1980 sowie einem Anteil von 0,02 % an der ELK-Aktivität, ist die mittlere Aktivität der NULL-Chargen des Ablieferers MPI weiterhin vernachlässigbar.

### 9.4.7 Fehlende Angaben zum Aktivitätsinventar der ELK 4/750

Die ELK 4/750 stellt die Kammer mit der geringsten Informationsdichte über die eingelagerten Abfälle dar, da dies die erste Kammer war, in welche Gebinde eingelagert wurden und für die zugehörige Dokumentation nur wenige Angaben zum Nuklidinventar gefordert waren [5]. Im Wesentlichen wurden neben den mittleren Aktivitätsangaben pro Behälter nur Angaben zur Strahlungsart der darin enthaltenen Nuklide gemacht. Diese unzureichende Informationslage ermöglicht es somit nicht, mittels PAI nuklidspezifische Aktivitäten zu einem gewünschten Stichtag zu berechnen.

Gemäß ASSEKAT 11.0 sind in dieser ELK insgesamt 6.340 schwachradioaktive Gebinde, davon 5.426 NULL-Gebinde (ca. 85,6 %), zwischen 1967 und 1971 eingelagert worden. Der Anteil der jeweiligen Ablieferer ist in Abbildung 22 dargestellt.

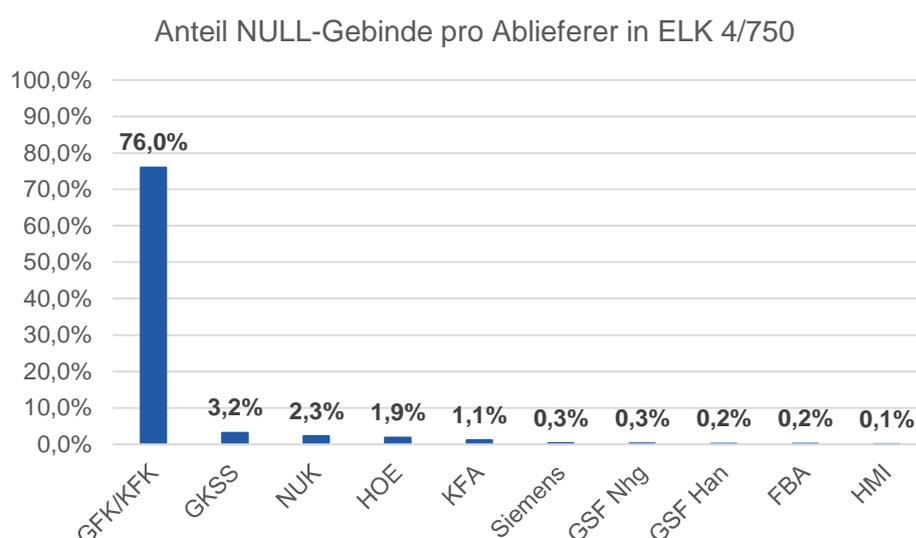


Abbildung 22: Anteil der NULL-Gebinde pro Ablieferer in der ELK 4/750

Die häufigste Verpackungsgruppe stellen hierbei 200-L-Fässer dar, den weitaus geringeren Anteil machen VBA und 400-L-Fässer aus. Die für diese ELK berechnete Aktivität beträgt zum Stichtag 01.01.1980 ca. 7,06E+11 Bq (davon machen Alpha-Nuklide einen Anteil von ca. 85 % aus). Die gem.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 65
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

„Chargen-mod“ dokumentierte mittlere Aktivität beträgt insgesamt maximal<sup>2</sup> 1,19E+13 Bq, die nicht berücksichtigte Aktivität der NULL-Chargen macht davon (maximal) ca. 93 % aus.

Der Ablieferer GFK/KfK weist mit 4.820 NULL-Gebinden mit einer mittleren Aktivität der NULL-Chargen von 1,08E+13 Bq den weitaus größten Anteil an dieser ELK auf (s. Abbildung 22). Das ist in Bezug auf eine mögliche Nacherhebung von Daten insofern nachteilig, als dass dieser Ablieferer ein breites Abfallart-, Nuklid- und Aktivitätsspektrum in den eingelagerten Abfällen aufweist, sodass eine überschlägige Ableitung von Nukliden bzw. Nuklidverhältnissen und eine darauf basierende Zerfallsrechnung zu bestimmten Stichtagen mit sehr hohen Unsicherheiten verbunden ist. Eine Ausnahme bilden die Chargen der WAK-Kampagne „Uranbetrieb“, für welche eine nuklidspezifische Aktivität überschlägig abgeschätzt wurde (s. Kapitel 9.4.1.3).

Für den Ablieferer HOE werden 119 NULL-Gebinde mit insgesamt mit 8,8E+10 Bq in der ELK 4/750 ausgewiesen. Die macht einen Anteil von NULL-Gebinde-Aktivitäten an der Gesamtaktivität der ELK 4/750 von 12,5 % aus. In Kapitel 9.4.4.3 konnte auf Basis vergleichbarer Abfälle eine überschlägige Aktivitätsabschätzung dieser NULL-Gebinde (zu ID-Nr. 306) durchgeführt werden. Im Mittel wurde eine zum Stichtag 01.01.1980 zerfallskorrigierte Aktivität von 6,61E+10 Bq der NULL-Gebinde ermittelt (keine Alpha-Nuklide). Dies entspricht ca. 9 % der berechneten ELK-Aktivität.

In die ELK 4/750 wurden von insgesamt acht Ablieferern kernmaterialhaltige Abfälle eingelagert. In den ca. 16 Mg Uran sind ca. 619 g LEU enthalten (eine Charge mit 12 Gebinden des Ablieferers KRT), der Hauptanteil Uran verteilt sich auf U<sub>nat</sub> und U<sub>abg</sub>. Bei der geringen Masse an Plutonium handelt es sich nicht um Angaben, die von den Ablieferern deklariert wurden, sondern um Massen, die aufgrund des im PAI unterstellten Nuklidvektors mit KKW-Herkunft berechnet wurden [4].

Von den beiden Hauptablieferern KFA und GFK/KfK wurden in der ELK 4/750 keine kernmaterialhaltigen Abfälle eingelagert (s. Tabelle 21).

Tabelle 21: Übersicht über die kernmaterialhaltigen Abfälle der Ablieferer in der ELK 4/750

Ablieferer*	P <sub>Uges</sub> [g]	Th <sub>ges</sub> [g]	U <sub>ges</sub> [g]	LEU [Anzahl Gebinde]	HEU [Anzahl Gebinde]	U <sub>nat</sub> [Anzahl Gebinde]	U <sub>abg</sub> [Anzahl Gebinde]
Conradty	-	681.802,35	-	-	-	-	-
KRT	-	0,02	794.185,68	12	-	67	74
HMI	-	4,09E-06	-	-	-	-	-
NUK	-	4.978.196,01	15.735.495,08	-	-	249	-
KWO	2,10E-04	2,10E-05	2,03	-	-	-	110
KRB	8,62E-05	3,12E-05	3,01	-	-	-	83
KWU Karlstein	1,00E-04	1,20E-05	1,16	-	-	-	6
KWL	1,23E-04	1,22E-05	1,17	-	-	-	96
<b>Summe</b>	<b>5,20E-04</b>	<b>5.659.998,38</b>	<b>16.529.688,13</b>	<b>12</b>	<b>-</b>	<b>316</b>	<b>369</b>

\* Erläuterung der Kürzel: s. Kapitel 3

Auf Basis der vorliegenden Dokumentation und bereits durchgeführten Inventarprüfungen (z. B. [3], [4]) liegen keine Hinweise auf Kernmaterialmassen vor, welche in der ELK 4/750 mittels PAI nicht berücksichtigt werden. Auch in [5] wird bestätigt, dass die eingelagerten Mengen, hier Kernbrennstoff, weit unterhalb der genehmigten Obergrenzen liegen.

<sup>2</sup> Maximalangabe, da unterschiedliche Referenzzeitpunkte zur Angabe der Aktivität pro Behälter vorliegen und da „Aktivität [Ci]“ häufig mit der Bedingung „<“ angegeben wurde. Beides wird in der mittleren Gesamtaktivität über alle NULL-Chargen mangels weiterer Informationen nicht berücksichtigt.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 66

Die vorliegenden Informationen zur ELK 4/750 ermöglichen keine nachträgliche Erhebung nuklidspezifischer Daten, welche eine Aktivitätsberechnung der NULL-Chargen mittels PAI ermöglichen. Eine umfangreiche Recherche und Ableitung benötigter Daten ist vor dem Hintergrund des geringen Anteils der NULL-Chargen dieser ELK am Gesamtinventar (maximal ca. 0,1 %) und einem auf Basis der vorliegenden Dokumentation durchgeführten Ausschluss nicht berücksichtigter Kernmaterialien nicht sinnvoll.

Im Rahmen einer Rückholung und Abfallbehandlung ist daher insbesondere der hohe Anteil an Alpha-Nukliden in dieser ELK zu berücksichtigen, da diese im Vergleich zu den Beta-/Gamma-Nukliden höhere Halbwertszeiten aufweisen und somit auch zukünftig den größten Anteil an der ELK-Aktivität ausmachen werden.

### 9.4.8 Fazit

Die Überprüfung der NULL-Chargen ergab, dass

- die ELK 8a/511, in welcher die mittelradioaktiven Abfälle eingelagert wurden, die einzige ELK darstellt, für welche keine NULL-Chargen vorliegen,
- es keine Hinweise darauf gibt, dass NULL-Chargen Kernmaterial enthalten, welches in der Bilanzierung nicht berücksichtigt wird,
- die nicht berücksichtigten Aktivitäten der NULL-Chargen im Verhältnis zum Gesamtinventar vernachlässigbar sind und
- die unvollständige Datenlage keine nachträgliche Aktivitätsabschätzung ermöglicht, da insbesondere von den Hauptablieferern GfK/KFK und KFA heterogene Nuklidinventare abgeliefert wurden, welche auch eine überschlägige Aktivitätsberechnung nicht mehr ermöglichen. Sofern tiefergehende Recherchen in Archiven und Originaldokumenten zu neuen oder vertieften Erkenntnissen über das Nuklidinventar einzelner Ablieferer oder Chargen führen, können diese z. B. über Berechnungsroutinen berücksichtigt und Datenlücken gefüllt werden. Hierfür können die ermittelten Anteile der NULL-Gebinde an den jeweiligen ELK eine Grundlage für tiefergehende Recherchen pro Ablieferer bieten.

## 10 Behebung Defizit D-16: Berücksichtigung kurzlebiger Nuklide

### 10.1 Beschreibung des Defizites

Der Aufbau von Tochternukliden wird in PAI nur für ausgewählte Nuklide berücksichtigt. Dies vernachlässigt jedoch die Bildung und die Bewertung des Einflusses von kurzlebigen radioaktiven Zerfallsprodukten.

### 10.2 Behebung des Defizites

Das Defizit D-16 wurde mit Behebung des Defizites D-24 (Implementierung eines Zerfallsmoduls) behoben (s. Kapitel 12).

## 11 Behebung Defizit D-23: Fallunterscheidungen im VBA-Code

### 11.1 Beschreibung des Defizites

Im VBA-Code des PAI wurden nuklidspezifische Berechnungsparameter sowie abfall- und abliefererspezifische Fallunterscheidungen fest implementiert. Dies erschwert nachträgliche Änderungen, sowie die Nachvollziehbarkeit der Berechnungen, da nur wenige Dokumentationen im Code enthalten sind.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 67
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

## 11.2 Behebung des Defizites

Zur Behebung des Defizites D-23 wurden Anpassungen in der Datenbank und im VBA-Code vorgenommen, um einen besseren Überblick über die Verfahren zur Berechnung der Nuklidaktivitäten der Chargen zu ermöglichen. Im Ergebnis wird nun jeder Charge eine Berechnungsroutine zugeordnet. Diese sind in der Tabelle „Berechnungsroutinen“ mit den zugehörigen Parametern aufgeführt und werden in der Tabelle „Chargen-mod“ im Feld „Berechnungsroutine“ den Chargen zugeordnet.

Die Berechnungsroutinen sind detailliert in [7] dokumentiert.

## 11.3 Implementierung in VBA

Im VBA-Code wurden die Subroutine „*BerechnungsroutineAuswahl*“ so umstrukturiert, dass die verschiedenen spezifischen Berechnungen nun an einer einzigen Stelle im Code gebündelt sind: Sie implementiert die verschiedenen Berechnungsroutinen als Blöcke, die durch die Bezeichnung der Berechnungsroutine gekennzeichnet sind.

Einige Berechnungsroutinen enthalten noch „if“- bzw. „cases“-Blöcke. Dies ist auf zwei Möglichkeiten zurückzuführen:

- Der „if“-/„case“-Block hängt von einer nutzerspezifischen Einstellung im PAI-Dialogs ab, d. h. ob beispielsweise eine Option aktiviert oder deaktiviert ist. Hierdurch kann eine betroffene Charge nicht an eine bestimmte Berechnungsroutine gebunden werden, da dies von einer Einstellung zur Laufzeit abhängt.
- Der „if“-/„case“-Block ist kurz genug, um einen Überblick zu ermöglichen, ohne ihn in zwei verschiedene Verfahren aufzuteilen (eine für den Fall, dass der „if“-Block wahr ist, und eine für den Fall, dass der „if“-Block falsch ist). Diese Wahl wurde getroffen, um zu vermeiden, dass die Anzahl der Prozeduren zu hoch wird.

Beispiel:

```
If ThJaNein(Nr_Charge) = True Then Th_berechnet = True  
If PuJaNein(Nr_Charge) = True Then Pu_berechnet = True  
If UJaNein(Nr_Charge) = True Then U_berechnet = True
```

Bei einer Aufteilung müssten alle möglichen Anordnungen (Permutationen) der drei „if“-Blöcke berücksichtigt werden - also acht separate Berechnungsroutinen anstelle von nur einer.

## 11.4 Änderungen und Anpassungen in der Datenbank

Die Berechnungsroutinen stellen nun eine neue Eigenschaft der Chargen dar und werden direkt in der Tabelle „*Chargen-mod*“ angegeben. Hierin wurde das Feld „*Berechnungsroutinen*“ ergänzt, in welchem die chargenspezifischen Berechnungsroutinen zugeordnet werden. Die Datentabelle „*Berechnungsroutinen*“ stellt den Auswahlkatalog für dieses Feld dar. Eine Änderung der Zuordnung sollte nicht durchgeführt werden, da dies fehlerhafte Auswirkungen auf die Aktivitätsberechnungen hat.

Die neue Datentabelle „*Berechnungsroutinen*“ enthält die folgenden Felder:

- Feld „*Bezeichnung*“: der eindeutige Name der Berechnungsroutine. Dieser wird in der Tabelle „*Chargen-mod*“ und im VBA-Code verwendet, um auf den richtigen Code-Block der Berechnungsroutine zuzugreifen.
- Feld „*Beschreibung*“: Kurze Zusammenfassung, was im entsprechenden Code-Block der Berechnungsroutine durchgeführt wird. Zusätzlich steht eine detaillierte Dokumentation zu jeder Berechnungsroutine in [7] zur Verfügung.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 68
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

- Feld „*Bemerkung*“: Beschreibung der Parameter je Berechnungsroutine. Ist das Feld leer, benötigt die Berechnungsroutine für diese Chargen keine Parameter, um die Berechnung ausführen zu können.
- Feld „*Parameter1...6*“: numerischer Parameter, wie z. B. Massenangaben, Faktoren o. ä., welche von der jeweiligen Berechnungsroutine benötigt werden, um eine Aktivitätsberechnung ausführen zu können. Sofern erforderlich und auf Basis von zusätzlich gewonnenen Informationen zu Chargen möglich, können hierin Anpassungen vorgenommen und somit die Aktivitätsberechnung angepasst werden.
- Feld „*ParameterText*“: Text-Parameter, wie z. B. ein definierter Nuklidvektor im VBA-Code, auf welchen die Berechnungsroutine zugreift.

Insgesamt wurden 164 Berechnungsroutinen in dem VBA-Code der ASSEKAT 10.0 identifiziert. Die Bezeichnung in der Form „[Ablieferer]\_[Anzahl Parameter][Lfd. Buchstabe]“ gibt eine Übersicht über die Berechnung:

- [Ablieferer]: Der Ablieferer war der Startpunkt der alten Subroutine zur Auswahl der Berechnungsroutine. Sofern der Ablieferer im alten Code nicht relevant war, wurde „X\_“ der Bezeichnung vorangestellt, gefolgt von einer Abkürzung der im alten Code verwendeten Methode:
  - NukMitAng: Nuklide mit Angaben
  - NukMitUndOhneAngaben: Nuklide mit Angaben und Nuklide ohne Angaben
  - NukOhneAngaben: Nuklide ohne Angaben
- [Anzahl Parameter]: die Anzahl der benötigten Parameter für die Berechnungsroutine;
- [Lfd. Buchstabe]: Sicherstellung der Eindeutigkeit des Namens. Ausnahme sind diejenigen Berechnungsroutinen, bei denen die KKW-Typ einer der benötigten Parameter ist, und somit der KKW-Typ den laufenden Buchstaben ersetzt.

Die Berechnungsroutinen mit den Bezeichnungen „XX\_FF“ und „XX\_NN“ stellen darüber hinaus besondere Berechnungsroutinen dar:

- XX\_FF: Die Charge ist zu vernachlässigen
- XX\_NN: Es sind keine zusätzlichen Berechnungen erforderlich

Im Rahmen der Überarbeitung wurden zudem die Berechnungsroutinen durch das Entfernen nicht mehr benötigter Code-Bestandteile übersichtlicher gestaltet.

## 11.5 Dokumentation der Berechnungsroutinen

Die Berechnungsroutinen wurden dokumentiert mit Angabe einer Beschreibung der jeweiligen Berechnung und der Anzahl der betroffenen Chargen. Außerdem wurde – sofern vorhanden – der Bezug zu den Originaldokumenten aus der Anlieferungs- und Einlagerungszeit oder anderen erläuternden Unterlagen hergestellt, um eine Nachvollziehbarkeit der jeweiligen Berechnungsroutinen zu gewährleisten. Die Dokumentation ist in [7] enthalten.

## 12 Behebung Defizit D-24: Implementierung eines Zerfallsmoduls

### 12.1 Beschreibung des Defizites

Bislang sind radioaktive Zerfallsprozesse in PAI nicht bzw. sehr unvollständig implementiert. Auch der Aufbau von Tochternukliden innerhalb von Zerfallsreihen bleibt – bis auf wenige gesondert betrachtete Fälle – in PAI unberücksichtigt.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 69
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

## 12.2 Eingabedatei mit den Nukliddaten

Die verwendeten Halbwertszeiten, Tochternuklide und Verzweigungsverhältnisse wurden der JEFF-3.3-Datenbank [11] entnommen. Dazu wurde aus der im ENDF/B-Format vorliegenden Datenbank mit einem Skript eine Textdatei mit den notwendigen Informationen erstellt (s. „branch\_kurz\_jeff33.txt“). Das Format dieser Textdatei ist nachfolgend beschrieben. Beim ersten Aufruf einer der VBA-Funktionen, die als Schnittstelle zu der dynamischen Programmbibliothek (*Dynamic Link Library, DLL*)<sup>3</sup> dienen, wird die Textdatei mit den Nukliddaten eingelesen. Die eigentliche Berechnung der Zerfallskorrektur erfolgt mit den in C++ implementierten Funktionen der DLL. Diese Daten bleiben während der Laufzeit des Programms erhalten und müssen daher nicht neu eingelesen werden. Aktualisierte Daten zu Halbwertszeiten etc. können zudem durch eine einfache Ersetzung der Eingabedatei implementiert werden.

Die Nukliddaten werden aus einer Textdatei eingelesen. Kommentare werden dabei durch das Zeichen „#“ eingeleitet. In jeder Zeile der Datei erfolgt die Angabe der Daten für jeweils ein Nuklid. Da alle Nuklide aus der JEFF-3.3-Datenbank berücksichtigt wurden, sind insgesamt 3.852 Einträge vorhanden.

Für Fließkommazahlen können in der Textdatei sowohl ein Komma als auch ein Punkt als Dezimaltrennzeichen verwendet werden.

Die Daten zu den Nukliden sind spaltenweise folgendermaßen angeordnet:

1. Kernladungszahl Z
2. Nuklidbezeichnung (chemisches Symbol des Elements, dann ein „-“ gefolgt von der Massezahl A; bei metastabilen Zuständen folgt dann ein „m“, „n“, ...)  
Beispiele: Co-60, Ag-108m  
*Hinweis: n-1 steht für das Neutron; N-16, N-17, ... für Stickstoffisotope*
3. Massezahl A
4. Masse in Vielfachen der Neutronenmasse
5. Masse in Vielfachen der atomaren Masseneinheit (1 u)
6. Halbwertszeit in Sekunden; bei stabilen Kernen wird -1 angegeben
7. Flag, ob ein alpha-Nuklid vorliegt (0: kein alpha-Nuklid)
8. Flag, ob ein beta-/gamma-Nuklid vorliegt (0: kein beta-/gamma-Nuklid)

Ab Spalte 9 erfolgt die Angabe der möglichen Zerfälle und Tochternuklide. Dabei werden für jeden Zerfallszweig die folgenden drei Werte angegeben (in dieser Reihenfolge):

- Zerfallstyp (beispielsweise „beta-“, „alpha“, „n“, „beta+/EC“)
- Tochternuklid (in der gleichen Notation wie die Nuklidbezeichnung in Spalte 2)
- Verzweigungsverhältnis

## 12.3 Grundlagen zur Zerfallskorrektur

Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Zerfallskorrektur stellt sich wie folgt dar:

Die Zerfallskorrektur erfolgt über eine allgemeine Lösung der Zerfallsgleichung

<sup>3</sup> Die Bezeichnung DLL wird beim Betriebssystem Windows für eine dynamische Programmbibliothek verwendet, die (meist allgemeine) Funktionen zur Verfügung stellt, die von verschiedenen Programmen verwendet werden können. Auch wenn diese Funktionen von verschiedenen Programmen verwendet werden, muss die DLL dabei nur einmal in den Computer-Speicher geladen werden. Bei der Verwendung von VBA (beispielsweise in MS-Access und MS-Excel) ist es möglich Funktionen aus einer DLL aufzurufen. Die Ausführungsgeschwindigkeit dieser Funktionen ist normalerweise deutlich höher als bei rein über VBA implementierten Funktionen.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 70
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

$$\dot{N}_j(t) = -\lambda_j \cdot N_j(t) + \sum_i b_{ij} \cdot \lambda_i \cdot N_i(t) \quad \text{Gl. (4)}$$

unter Berücksichtigung des Aufbaus von Tochternukliden.

Dabei werden die folgenden Größen verwendet:

- $N_j(t)$  Anzahl der nicht zerfallenen Kerne des Nuklids  $j$  zum Zeitpunkt  $t$
- $\lambda_j$  Zerfallskonstante für Nuklid  $j$
- $b_{ij}$  Anteil der Kerne des Nuklids  $i$ , die zu Kernen des Nuklids  $j$  zerfallen (es gilt  $b_{jj} = 0$ , da kein Nuklid zu sich selbst zerfällt)

Bei der Zuordnung der Indizes zu den Nukliden ist es sinnvoll für das Anfangsnuklid einer Zerfallskette den Index  $j = 0$  zu verwenden. Da für die einfachere Berechnung der Lösung eine Umsortierung der Zuordnung zwischen Nukliden und Indizes erfolgt, ist es allerdings nicht notwendig beim Aufruf der Funktionen zur Lösung der Gleichung eine bestimmte Reihenfolge der Nuklide einzuhalten.

*Anmerkung: Wenn mehrere Zerfallsketten simultan berechnet werden, ist es natürlich nicht möglich für das Anfangsnuklid jeder Kette den Index 0 zu verwenden.*

Im Folgenden wird die zur Lösung verwendete Methode kurz beschrieben. Um die Formulierung der Lösungsmethode zu vereinfachen wird davon ausgegangen, dass Zuordnung der Nuklide zu den Indizes so erfolgt, dass

$$b_{ij} = 0 \quad \text{für alle } i \geq j \quad \text{Gl. (5)}$$

Gilt  $b_{i0} = 0$  bedeutet beispielsweise, dass kein Nuklid in das Nuklid mit dem Index 0 zerfällt. Bei einem einzelnen Zerfall ist dieses also das Mutternuklid. Wenn eine gesamte Zerfallskette berechnet wird, ist das Nuklid mit dem Index 0 das Anfangsnuklid der Zerfallskette. Wenn mehrere Zerfallsketten simultan berechnet werden, ist das Nuklid mit dem Index 0 das Anfangsnuklid einer dieser Zerfallsketten. Diese Sortierung erfolgt automatisiert durch Funktionen der in Kapitel 12.2 erwähnten DLL.

Der bei der Berechnung (und hier in der weiteren Beschreibung) verwendete Index wird programmintern über ein Feld der ursprünglichen Indizierungsreihenfolge der Nuklide beim Aufruf der Funktionen zugeordnet ( $\text{idx\_original} = \text{index\_feld}[\text{idx\_intern}]$ ). Da bei den Zerfällen Energie frei werden muss (sonst ist der Prozess nicht möglich), ist eine Sortierung dieser Art immer möglich. Bei der Implementierung des Sortieralgorithmus erfolgt dennoch eine Überprüfung zur Vermeidung von Endlosschleifen. Erst durch diese Sortierung wird die Verwendung der im Folgenden beschriebenen Lösungsmethode ermöglicht.

Nach der Sortierung ist das Nuklid mit dem Index 0 das Anfangsnuklid einer Zerfallskette (es erfolgen keine Zerfälle zu diesem Nuklid):

$$b_{i0} = 0 \quad \text{für alle } i \geq 0 \quad \text{Gl. (6)}$$

Da die Angabe der Aktivität der Nuklide relevant ist und nicht die Anzahl der Atomkerne eines Nuklides, wird die Zerfallsgleichung (Gl. 4) unter Verwendung der Aktivität ( $A_j$ )

$$A_j(t) = \lambda_j \cdot N_j(t) \quad \text{Gl. (7)}$$

umgeschrieben. Mit  $\dot{A}_j(t) = \lambda_j \cdot \dot{N}_j(t)$  ergibt sich die Gleichung

$$\dot{A}_j(t) = -\lambda_j \cdot A_j(t) + \sum_i b_{ij} \cdot \lambda_i \cdot A_i(t) \quad \text{Gl. (8)}$$

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 71

Die Lösung erfolgt also für die Aktivität und nicht für die Anzahl der Atomkerne der Nuklide.

Als Ansatz für die Lösung wird

$$A_j(t) = \sum_k \alpha_{jk} \cdot e^{-\lambda_k \cdot t} \quad \text{Gl. (9)}$$

gewählt. Die Elemente der Matrix  $\alpha_{jk}$  sind Konstanten, die den Zerfall unter Berücksichtigung der Anfangsbedingungen beschreiben. Dies entspricht dem Ansatz  $A_0(t) = \alpha_{00} \cdot e^{-\lambda_0 \cdot t}$  bei einem Zerfall ohne Berücksichtigung der Nachbildung. Für dieses ergibt sich  $\alpha_{00} = A_0(0)$  (Anfangsbedingung, Aktivität zum Zeitpunkt 0).

Zusätzlich werden als Anfangsbedingungen die Aktivitäten zum Zeitpunkt  $t = 0$  verwendet. Damit ergibt sich

$$A_j(0) = \sum_k \alpha_{jk} \quad \text{Gl. (10)}$$

Mit diesen beiden Gleichungen (Gl. 9 und Gl. 10) ist es möglich ein Gleichungssystem zur Berechnung der Koeffizienten  $\alpha_{jk}$  zu erstellen. In diese Koeffizienten gehen die Zerfallskonstanten (also die Halbwertszeiten), die Verzweungsverhältnisse und die Anfangsbedingungen ein. Bei der Lösung des Gleichungssystems ist die oben beschriebene Sortierung der Nuklide notwendig.

## 12.4 Funktionen der DLL und Schnittstelle zu VBA

Zur Behebung des Defizits D-24 wurden eine DLL-Bibliothek (*Dynamic Link Library*) erstellt sowie Anpassungen am VBA-Code vorgenommen. Mit den Funktionen, die von der in C++ geschriebenen DLL-Bibliothek zur Verfügung gestellt werden, erfolgt eine Zerfallskorrektur für die in der ASSEKAT vorliegenden Aktivitäten. Dabei werden Zerfallsketten automatisch ergänzt und der Aufbau der Tochternuklide berücksichtigt.

Die relevanten Funktionen der DLL, die aus dem VBA-Code aufgerufen werden, sind nachfolgend aufgeführt.

### **DecayData\* readNuclData(const char\* fnam)**

Liest die Nukliddaten aus der Datei ein, deren Name in fnam übergeben wurde. Der Rückgabewert ist ein Zeiger auf ein Objekt der DLL-interne Klasse zur Verwaltung der Zerfallsdaten.

### **double DecayGetHWZ(const DecayData\* d, const char\* nucl)**

Gibt die Halbwertszeit des Nuklids (Name wird in nucl übergeben, z. B. „Co-60“ oder „Ag-108m“) in Sekunden als Fließkommazahl (doppelte Genauigkeit) zurück. Im Parameter d wird der Funktion der Zeiger auf das Objekt übergeben, der als Rückgabewert von readNuclData(fnam) erhalten wurde.

### **double DecayGetLambda(const DecayData\* d, const char\* nucl)**

Gibt die Zerfallskonstante des Nuklids (Name wird in nucl übergeben, z. B. „Co-60“ oder „Ag-108m“) in 1/Sekunde als Fließkommazahl (doppelte Genauigkeit) zurück. Im Parameter d wird der Funktion der Zeiger auf das Objekt übergeben, der als Rückgabewert von readNuclData(fnam) erhalten wurde.

### **long DecayGetZ(const DecayData\* d, const char\* nucl)**

Gibt die Kernladungszahl des Nuklids (Name wird in nucl übergeben, z. B. „Co-60“ oder „Ag-108m“) als ganze Zahl zurück. Im Parameter d wird der Funktion der Zeiger auf das Objekt übergeben, der als Rückgabewert von readNuclData(fnam) erhalten wurde.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 72
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

## **long DecayGetA(const DecayData\* d, const char\* nucl)**

Gibt die Massenzahl des Nuklids (Name wird in *nucl* übergeben, z. B. „Co-60“ oder „Ag-108m“) als ganze Zahl zurück. Im Parameter *d* wird der Funktion der Zeiger auf das Objekt übergeben, der als Rückgabewert von `readNuclData(fnam)` erhalten wurde.

## **double DecayGetM\_n(const DecayData\* d, const char\* nucl)**

Gibt die Masse des Nuklids (Name wird in *nucl* übergeben, z. B. „Co-60“ oder „Ag-108m“) in Vielfachen der Neutronenmasse als Fließkommazahl zurück. Im Parameter *d* wird der Funktion das Objekt auf die Klasse übergeben, der als Rückgabewert von `readNuclData(fnam)` erhalten wurde.

## **double DecayGetM\_u(const DecayData\* d, const char\* nucl)**

Gibt die Masse des Nuklids (Name wird in *nucl* übergeben, z. B. „Co-60“ oder „Ag-108m“) in Vielfachen der atomaren Masseneinheit (1 u) als Fließkommazahl zurück. Im Parameter *d* wird der Funktion der Zeiger auf das Objekt übergeben, der als Rückgabewert von `readNuclData(fnam)` erhalten wurde.

## **bool DecayIsAlpha(const DecayData\* d, const char\* nucl)**

Gibt an, ob das Nuklid ein alpha-Strahler ist. Im Parameter *d* wird der Funktion der Zeiger auf das Objekt übergeben, der als Rückgabewert von `readNuclData(fnam)` erhalten wurde.

## **bool DecayIsBeta(const DecayData\* d, const char\* nucl)**

Gibt an, ob das Nuklid ein beta-/gamma-Strahler ist. Im Parameter *d* wird der Funktion der Zeiger auf das Objekt übergeben, der als Rückgabewert von `readNuclData(fnam)` erhalten wurde.

## **Activity\* initActivity()**

Initialisiert ein Objekt der Klasse zur Aktivitätsberechnung und gibt einen Zeiger auf dieses Objekt zurück.

## **int ClrActivity(Activity\* a)**

Löscht interne Daten (wie Nuklid-Listen und Anfangsaktivitäten) des als Zeiger übergebenen Objekts der Klasse zur Aktivitätsberechnung. Dies ist vor einer Berechnung für ein neues Gebinde notwendig, da ansonsten die nuklidbezogenen Anfangsaktivitäten aus vorherigen Berechnungen noch vorhanden sind und mitberücksichtigt werden.

## **int AppendNuclide(Activity\* a, const char\* nucl, double val)**

Fügt ein neues Nuklid (Name in *nucl*) mit der in *val* angegebenen Aktivität (in Bq) in die Nuklid-Liste des Objekts ein.

## **int BuildChain(Activity\* a, const DecayData\* d)**

Erzeugt im Objekt, das mit dem Zeiger *a* übergeben wird, eine Liste aller Nuklide, die in der Zerfallskette berücksichtigt werden müssen. Als Grundlage für diese Bestimmung werden die Daten des Objekts *d* verwendet, in das die Zerfallsdaten mit der Funktion `d = readNuclData(fnam)` eingelesen wurden. Wenn mit `AppendNuclide(a,nucl,val)` Aktivitäten für Nuklide aus verschiedenen Zerfallsketten definiert wurden, werden alle diese Zerfallsketten berücksichtigt.

Weiterhin erfolgt unter Verwendung der Anfangsaktivitäten die Berechnung der Koeffizientenmatrix für die Lösung der Zerfallsgleichung.

## **int EvaluateDecay(Activity\* a, double t)**

Berechnet die Aktivitäten aller Nuklide aus der im Objekt *a* festgelegten Zerfallskette für eine Zerfallsdauer von *t* (in Sekunden).

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 73
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

## **double GetActivity(const Activity\* a, const char\* nucl)**

Liest die mit EvaluateDecay(a,t) berechnete Aktivität (in Bq) für das Nuklid nucl aus. Bei nicht in der Kette vorhandenen Nukliden wird 0 als Ergebnis zurückgegeben.

## **double SumActivity(const Activity\* a)**

Liest die mit EvaluateDecay(a,t) berechnete Aktivität (in Bq) als Summe über alle Nuklid in allen Zerfallsketten aus.

## **long GetAnzahlNuklide(const Activity\* a)**

Gibt die Anzahl aller in den Zerfallsketten vorhandenen Nuklide zurück.

## **long GetNuklid(const Activity\* a, long i, char\* nucl)**

Gibt in nucl den Namen des i-ten Nuklids aus den Zerfallsketten im Objekt a zurück. Dabei gilt  $0 \leq i < \text{GetAnzahlNuklide}(a)$ . nucl muss als VBA-Zeichenkette initialisiert sein, d. h. vor der Adresse, die in nucl übergeben wird, muss die maximale Länge der Zeichenkette als Integerwert stehen (wird bei der Übergabe von Strings in VBA automatisch definiert).

## **bool NuklidsAlpha(const Activity \* a, char\* nucl)**

Gibt an, ob das Nuklid nucl ein alpha-Strahler ist. Dazu muss das entsprechende Nuklid in der Zerfallskette im Objekt a vorhanden sein.

## **bool NuklidsBeta(const Activity \* a, char\* nucl)**

Gibt an, ob das Nuklid nucl ein beta-/gamma-Strahler ist. Dazu muss das entsprechende Nuklid in der Zerfallskette im Objekt a vorhanden sein.

## **long GetNukNam(const Activity \* a, long i, BSTR\* nucl)**

Gibt in nucl den Namen des i-ten Nuklids aus den Zerfallsketten im Objekt a zurück. Dabei gilt  $0 \leq i < \text{GetAnzahlNuklide}(a)$ .

## **long GetNukNamListe(const Activity \* a, BSTR\* nucl)**

Gibt in nucl eine mit „;“ getrennte Liste der Nuklide aus den Zerfallsketten im Objekt a zurück.

Die Definition der Schnittstelle zur DLL im VBA-Code erfolgt über Declare-Anweisungen. Dabei werden die Zeiger aus den C++-Routinen als Variablen des Typs LongLong übergeben. Die oben beschriebenen Funktionen der DLL werden dem VBA-Code über die folgenden Anweisungen zugänglich gemacht:

```

Declare PtrSafe Function readNuclData Lib "DecayChain.dll" _
    (ByVal fnam As String) As LongLong
Declare PtrSafe Function DecayGetHWZ Lib "DecayChain.dll" _
    (ByVal p As LongLong, ByVal nucl As String) As Double
Declare PtrSafe Function DecayGetLambda Lib "DecayChain.dll" _
    (ByVal p As LongLong, ByVal nucl As String) As Double
Declare PtrSafe Function DecayGetZ Lib "DecayChain.dll" _
    (ByVal p As LongLong, ByVal nucl As String) As Long
Declare PtrSafe Function DecayGetA Lib "DecayChain.dll" _
    (ByVal p As LongLong, ByVal nucl As String) As Long
    
```

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 74

```

Declare PtrSafe Function DecayGetM_n Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong, ByVal nucl As String) As Double
Declare PtrSafe Function DecayGetM_u Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong, ByVal nucl As String) As Double
Declare PtrSafe Function DecayIsAlpha Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong, ByVal nucl As String) As Boolean
Declare PtrSafe Function DecayIsBeta Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong, ByVal nucl As String) As Boolean
Declare PtrSafe Function initActivity Lib "DecayChain.dll" _
() As LongLong
Declare PtrSafe Function ClrActivity Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong) As Integer
Declare PtrSafe Function AppendNuclide Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong, ByVal nucl As String, ByVal act As Double) As Integer
Declare PtrSafe Function BuildChain Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong, ByVal dp As LongLong) As Integer
Declare PtrSafe Function EvaluateDecay Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong, ByVal T As Double) As Integer
Declare PtrSafe Function GetActivity Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong, ByVal nucl As String) As Double
Declare PtrSafe Function SumActivity Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong) As Double
Declare PtrSafe Function GetAnzahlNuklide Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong) As Long
Declare PtrSafe Function GetNuklid Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong, ByVal i As Long, ByVal nam As String) As Long
Declare PtrSafe Function GetNuklidListe Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong, ByVal nam As String) As Long
Declare PtrSafe Function NuklidsAlpha Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong, ByVal nucl As String) As Boolean
Declare PtrSafe Function NuklidsBeta Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong, ByVal nucl As String) As Boolean
Declare PtrSafe Function GetNukNam Lib "DecayChain.dll" _
(ByVal p As LongLong, ByVal i As Long, ByVal nam As LongPtr) As Long

```

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 75

```
Declare PtrSafe Function GetNukNamListe Lib "DecayChain.dll" _
    (ByVal p As LongLong, ByVal nam As LongPtr) As Long
```

Damit die Objekte zur Verwaltung der Nukliddaten und Aktivitäten während der gesamten Laufzeit des Programms zugänglich sind und vor allem die Nuklidliste mit den Daten der JEFF-3.3-Datenbank nicht ständig neu eingelesen werden muss, werden im VBA-Code die folgenden Funktionen definiert:

```
Function get_data_poi() As LongLong
    Static s_data_poi As LongLong
    Dim fnam As String

    fnam = CurrentProject.path & "\branch_kurz_jeff33.txt"

    Dim exists As String
    exists = Dir(fnam)
    If exists = "" Then
        Call DruckKM("Jeff-Datei nicht gefunden")
        Exit Function
    End If

    If s_data_poi = 0 Then
        s_data_poi = readNuclData(fnam)
    End If

    get_data_poi = s_data_poi
End Function

Function get_activity_poi() As LongLong
    Static s_act_poi As LongLong

    If s_act_poi = 0 Then
        s_act_poi = initActivity()
    End If

    get_activity_poi = s_act_poi
End Function
```

Durch die Verwendung statischer Variable (z. B. „Static s\_data\_poi As LongLong“) wird gewährleistet, dass eine Initialisierung des Objekts nur beim ersten Aufruf der Funktion erfolgt. Bei allen weiteren Aufrufen wird der dann schon definierte Wert der Variable (also des Zeigers) zurückgegeben.

Exemplarisch wird der Aufruf der Routinen im Folgenden gezeigt:

```
Dim retval As Integer
Dim a_poi As LongLong, d_poi As LongLong
Dim t_sec As Double
Dim Act As Double
Dim nucl As String
...
d_poi = get_data_poi()
```

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	Blatt: 76
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

```

a_poi = get_activity_poi()
...
retval = ClrActivity(a_poi)
retval = AppendNuclide(a_poi, "Co-60", 1.0)
retval = AppendNuclide(a_poi, "Am-241", 5.0)
...
retval = BuildChain(a_poi, d_poi)
...
t_sec = 100*24*3600 ' Zerfallsdauer in Sekunden berechnen (hier 100 Tage)
retval = EvaluateDecay(a_poi, t_sec)
...
' Abfrage einzelnes Nuklid
nucl = "Am-241"
Act = GetActivity(a_poi, nucl)

' Abfrage Summenaktivität
Act = SumActivity(a_poi)

' Abfrage alle Nuklide
Dim i As Long, anz As Long

anz = GetAnzahlNuklide(a_poi)
for i = 0 to anz - 1
    nucl = String$(32, 0) ' Platzhalter
    retval = GetNuklid(a_poi, i, nucl) ' Name i-tes Nuklid nach nucl
    Act = GetActivity(a_poi, nucl) ' Aktivität auslesen
    ... ' z. B. Ausgabe der Werte
    ' Prüfung auf alpha-Nuklid (funktioniert nur mit Nukliden aus Kette)
    If NuklidIsAlpha(a_poi, nucl) Then
        ' hier entsprechende Aktion ausführen, z. B. Aktivitäten addieren
    End If
    ' Prüfung auf beta-/gamma-Nuklid (funktioniert nur mit Nukliden aus Kette)
    If NuklidIsBeta(a_poi, nucl) Then
        ' hier entsprechende Aktion ausführen, z. B. Aktivitäten addieren
    End If
    ' Alternativ: Prüfung auf alpha-Nuklid (funktioniert mit allen Nukliden aus Datenbasis)
    If DecayIsAlpha(d_poi, nucl) Then
        ' hier entsprechende Aktion ausführen, z. B. Aktivitäten addieren
    End If
    ' Alternativ: Prüfung auf beta-/gamma-Nuklid (funktioniert mit allen Nukliden aus Datenbasis)
    If DecayIsBeta(d_poi, nucl) Then
        ' hier entsprechende Aktion ausführen, z. B. Aktivitäten addieren
    End If
End If
Next

' Alternative Möglichkeit zur Verwendung von Strings (mit Anpassung Länge)

Dim n_test As String

i = 0
n_test = ""
retval = GetNukNam(a_poi, i, VarPtr(n_test)) ' n_test ist danach Name des i-ten Nuklids

```

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 77
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

*retval = GetNukNamListe(a\_poi, VarPtr(n\_test)) ' n\_test ist Listenstring mit allen Nukliden*

## 12.5 Ergänzung der Datentabelle „Deltanuklidaktivitäten“

In der zusätzlichen Datentabelle „Deltanuklidaktivitäten“ werden pro Charge die einzelnen Tochternuklide und deren Aktivitäten aus dem Zerfallsmodul dargestellt, welche keine Katasternuklide darstellen und somit nicht in der Tabelle „ISS Kataster“ ausgegeben werden (sog. „Deltanuklide“). Hierzu wurde – analog zum Aufbau der Tabelle „ISS Kataster“ – folgende Ergebnisdarstellung gewählt (Tabelle 22):

Tabelle 22: Grundsätzlicher Aufbau der Datentabelle „Deltanuklidaktivitäten“

ChNr	Alpha-Gesamt	Beta/Gamma-Gesamt	Gesamt	Am-242 [Bq]	... [Bq]
[Zahl]	[Zahl]	[Zahl]	[Zahl]		
Chargen-Nummer	Summe der Aktivitäten der Alpha-Strahler für die Deltanuklide	Summe der Aktivitäten der Beta/Gamma-Strahler für die Deltanuklide	Gesamtaktivität der Deltanuklide in Bq		
...	...	...	...		

Die Datentabelle „Deltanuklide“ wird wie die Tabelle „ISS Kataster“ mit jeder Neuberechnung in PAI gelöscht und mit den neuen Daten zum gewählten Stichtag gefüllt. Die zugehörige Subroutine lautet „Sub Tabelle\_DeltanuklideAkt()“. Ob die Datentabelle „Deltanuklide“ erzeugt werden soll, kann vom Nutzer im PAI-Formular unter der neuen Option 11 ausgewählt werden (s. Abbildung 23). Die Aktivierung dieser Option 11 ist mit einer Erhöhung der Berechnungszeit in PAI verbunden. Wenn Option 11 nicht ausgewählt wird, wird die Berechnung dennoch mit ausgeführt, jedoch ohne die Tabelle „Deltanuklidaktivitäten“ auszugeben.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 78
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

### Weitere Berechnungsoptionen

- Option 1 - Aktivität Am-241 aus Masse Pu-241 berechnen (Empfehlung: Nein)
- Option 2 - Abzug KB-Nuklidaktivität von Gesamtaktivität (Empfehlung: Nein)
- Option 3 - Berechnung Stoffinventar (nicht implementiert)
- Option 4 - Makierungsnuklide konservativ (Empfehlung: Nein)
- Option 5 - Deklarierte Nuklide konservativ (Empfehlung: Nein)
- Option 6 - Berechnung Aktivitätsinventar (erfolgt immer)
- Option 9 - Chargenakt. auf U-Töchter umlegen (Empfehlung: Nein)
- Option 10 - Ausgabe Kontrollmeldungen (erfolgt immer)
- Option 11 - Deltanuklidaktivitäten berechnen

Abbildung 23: Anpassung des PAI-Formulars um Option 11

Die Deltanuklide werden in Alpha-Strahler und Beta-/Gamma-Strahler unterschieden. Deltanuklide, welche einen Isomerieübergang aufweisen, werden der Kategorie „Beta/Gamma“ zugeordnet, da auch bei diesen Nukliden geringe Gamma-Energien auftreten. Sofern Deltanuklide sowohl einen Alpha- als auch einen Beta-/Gamma-Zerfall aufweisen, werden diese ebenfalls der Kategorie „Beta/Gamma“ zugeordnet.

Tabelle 23: Zuordnung der Deltanuklide zu den Zerfallsarten „Alpha“ bzw. „Beta/Gamma“

Alpha-Strahler	Beta-/Gamma-Strahler
Sm-147, Gd-152, Po-210, Po-211, Po-212, Po-213, Po-214, Po-216, At-215, Rn-217, Rn-218, Rn-219, Rn-220, Rn-222, Ra-221, Ra-223, Ra-224, Th-227, Ac-225	Ac-228, Ag-108, Am-242, At-217, At-218, At-219, Ba-137m, Bi-208, Bi-210, Bi-211, Bi-212, Bi-213, Bi-214, Bi-215, Fr-221, Fr-223, Fr-224, Hg-206, Np-238, Np-239, Pa-233, Pa-234, Pa-234m, Pb-209, Pb-211, Pb-212, Pb-214, Po-215, Po-218, Pu-243, Ra-225, Sb-126, Sb-126m, Sb-126n, Te-125m, Th-231, Th-234, Tl-206, Tl-207, Tl-208, Tl-209, Tl-210, U-235m, U-237, Y-90

## 13 Behebung Defizit D-27: Abfragen zur Aktivitätsberechnung nach Zerfallsarten

### 13.1 Beschreibung des Defizites

Die in der ASSEKAT 10.0 enthaltenen Abfragen „PAI Kataster – Alpha“ und „PAI Kataster – Beta/Gamma“ berechnen die kammerstypische Aktivität der Summe aller Alpha- bzw. Beta- und Gamma-Nuklide zu einem gewählten Stichtag auf Basis des aktuellen Datensatzes in der Datentabelle „ISS Kataster“. Das Defizit besteht darin, dass sich bei der Aufsummierung aller Katasternuklide aus der Tabelle „ISS Kataster“ ein geringfügig höherer Wert, als die Summe der Ergebnisse aus den Abfragen „PAI Kataster – Alpha“ und „PAI Kataster Beta/Gamma“ ergibt:

In „ISS Kataster“ werden die Aktivitäten der Katasternuklide gem. Auswahl in der Datentabelle „ISS Nuklide“ berechnet. In der Datentabelle „ISS Nuklide“ werden die Katasternuklide eingeteilt in Alpha- bzw. Beta-Gamma-Nuklide. Die jeweiligen Tabellenstrukturen erlauben jedoch keine Verknüpfung zwischen „ISS Nuklide“ und „ISS Kataster“. Daher sind in der Vergangenheit in beiden Abfragen die

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 79
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

zu berücksichtigenden Nuklide als SQL-Ausdruck manuell in Form einer Summenformel aufgeführt worden. Nachfolgend ein Beispiel aus der Abfrage „PAI Kataster - Alpha“:

*Sum([ra-226]+[th-232]+[pa-231]+[u-232]+[u-233]+[u-234]+[u-235]+[u-236]+[u-238]+[np-237]+[pu-238]+[pu-239]+[pu-240]+[pu-242]+[pu-244]+[am-241]+[am-243]+[cm-243]+[cm-244]+[cm-245]+[cm-246]+[cf-249]) AS [Summe Alpha]*

Aus diesem Grund werden einige Nuklide nicht in den Abfragen mitgeführt, die jedoch als Katasternuklid gem. „ISS Nuklide“ definiert sind.

### 13.2 Anpassung der Datentabelle „ISS Nuklide“

Um eine umfassende Zuordnung der Nuklide zu den Zerfallsarten zu erhalten, werden die Felder „Alpha“ und „Beta/Gamma“ in der Datentabelle „ISS Nuklide“ gem. der Datenbank JEFF 3.3 [11] überprüft bzw. leere Einträge ergänzt. Die beiden Nuklide „Nb-93m“ und „Sn-119m“ weisen einen Isomerieübergang (IT) auf. Da jedoch auch geringe Gamma-Energien auftreten, erfolgt die Zuordnung dieser beiden Nuklide zu der Kategorie „Beta/Gamma“. Sofern Nuklide sowohl einen Alpha- als auch einen Beta-/Gamma-Zerfall aufweisen, werden diese der Kategorie „Beta/Gamma“ zugeordnet.

Im Ergebnis liegt folgende Einteilung gem. Tabelle 24 vor.

Tabelle 24: Zuordnung der Nuklide zu den Zerfallsarten in der Datentabelle „ISS Nuklide“

Alpha-Nuklide		Beta/Gamma-Nuklide	
Katasternuklide	Nicht-Katasternuklide	Katasternuklide	Nicht-Katasternuklide
Po-208, Ra-226, Th-228, Th-229, Th-230, Th-232, Pa-231, U-232, U-233, U-234, U-235, U-236, U-238, Np-237, Pu-236, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Pu-244, Am-241, Am-243, Cm-242, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-246, Cm-247, Cm-248, Cf-249, Cf-251, Cf-252	Bi-211, Po-210, Po-212, Po-214, Po-215, Po-216, Po-218, Rn-219, Rn-220, Rn-222, Ra-223, Ra-224, Th-227	H-3, Be-10, C-14, Al-26, Cl-36, Ca-41, Mn-54, Fe-55, Co-60, Ni-59, Ni-63, Se-79, Kr-85, Rb-87, Sr-90, Zr-93, Nb-93m, Nb-94, Mo-93, Tc-99, Pd-107, Ag-108m, Cd-113m, Sn-121m, Sn-126, Sb-125, I-129, Cs-134, Cs-135, Cs-137, Ba-133, Pm-147, Sm-151, Eu-152, Eu-154, Eu-155, Ho-166m, Tl-204, Pb-210, Ra-228, Ac-227, Pu-241, Am-242m, Cm-250	Na-22, P-32, S-35, Ar-39, K-40, Ca-45, Sc-46, Cr-51, Fe-59, Co-57, Co-58, Zn-65, Se-75, Rb-84, Rb-86, Sr-85, Y-88, Y-90, Zr-95, Nb-95, Mo-99, Ru-103, Ru-106, Rh-106, Ag-110m, Cd-115m, Sn-113, Sn-119m, Sn-123, Sb-124, Sb-126, Sb-127, Te-132, I-125, I-131, Xe-133, Ce-141, Ce-144, Pr-144, Nd-147, Gd-153, Tm-170, Lu-177, Hf-181, Ta-182, Re-186, Ir-192, Au-198, Hg-203, Tl-201, Tl-207, Tl-208, Pb-211, Pb-212, Pb-214, Bi-210, Bi-212, Bi-214, Ac-228, Th-231, Th-234, Pa-233, Pa-234m, Np-236, Np-239, Cf-254

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 80
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

## 13.3 Anpassung der Datentabelle „ISS Kataster“

Die Datentabelle „ISS Kataster“ wurde um die beiden Felder „Aktivität Alpha“ und „Aktivität Beta/Gamma“ ergänzt. In diesen Feldern ist jeweils die Summe der Aktivitäten derjenigen Katasternuklide pro Charge aufgeführt, die a) als Katasternuklide und b) entweder als Alpha- oder als Beta-Gamma-Nuklide in „ISS Nuklide“ definiert sind.

Eine nachträgliche Änderung in der Auswahl von Katasternukliden führt somit automatisch zu einer Berücksichtigung in den beiden neuen Aktivitätssummenfeldern. Durch Einführung dieser beiden neuen Spalten ist es nun auch möglich, mit einer Abfrage über die verknüpfte Datentabelle „Chargen-mod“ sowie der wiederum damit verknüpften Datentabelle „Kammern“ die Aktivitäten der Alpha- und Beta-/Gamma-Nuklide kammerweise wie bisher zu einem gewünschten Stichtag auszugeben.

## 13.4 Anpassung der Abfragen

Der zugehörige SQL-Code der neuen Abfrage „PAI Kataster - Alpha und Beta/Gamma“ lautet wie folgt:

```
SELECT DISTINCTROW [Kammern].KaNr, Sum([ISS Kataster].[Aktivität Alpha]) AS [Summe Alpha], Sum([ISS Kataster].[Aktivität Beta/Gamma]) AS [Summe Beta/Gamma]
FROM (Kammern INNER JOIN [Chargen-mod] ON Kammern.KaNr = [Chargen-mod].KaNr)
INNER JOIN [ISS Kataster] ON [Chargen-mod].ChargenNr = [ISS Kataster].ChargenNr
GROUP BY [Kammern].KaNr, [Kammern].KaSort
ORDER BY [Kammern].KaSort;
```

## 14 Behebung Defizit D-28: Chargen mit Kernbrennstoffen in ELK 4/750

### 14.1 Beschreibung des Defizites

Aus den Dokumenten aus der Zeit der Einlagerung der Abfälle kann entnommen werden, dass in die ELK 4/750 die folgenden sechs Chargen zur ID-Nr. 294 des Ablieferers KRT Großwelzheim Uranoxid mit einem Anreicherungsgrad bis 2,34 % zusammen mit einer erheblich größeren Menge von stark angereichertem Uranoxid eingelagert worden sind:

- Charge-Nr. 1290
- Charge-Nr. 1291
- Charge-Nr. 1292
- Charge-Nr. 1293
- Charge-Nr. 1294
- Charge-Nr. 1295

Aus der Bilanzierung ergibt sich in der Summe angereichertes Uranoxid für diese Chargen (s. auch Tabelle 4 zu Defizit D-3). Auch aus der zugehörigen PTB-Genehmigung geht hervor, dass die Abfälle aufgrund ihrer geringen Konzentration an Kernbrennstoffen als sonstige radioaktive Stoffe zu behandeln sind.

Anhand des Betriebsplans Nr. 27/2 vom 25.07.1968 [6], dem Fasskontrollbuch und vorliegenden zum Fragebogen gehörenden Lieferscheinen vom 30.01.1968, 12.02.1968 und 19.02.1968 aus der Einlagerungszeit [5] ist daher zu prüfen, ob diese Bilanzierung plausibel und nachvollziehbar ist oder ob die Berechnungsparameter in der ASSEKAT anzupassen sind.

### 14.2 Überprüfung der Unterlagen und der ASSEKAT

In [10] wird der Sachverhalt wie folgt dargestellt:

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 81
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

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

Im VBA-Code der ASSEKAT wurde die Berechnung für alle Chargen der ID 294 identisch umgesetzt:

- Die Masse von U-235 (M\_U235) wird aus der Tabelle „Kernbrennstoffe-mod“ übernommen.
- Die Massen von U-234 und U-238 berechnen sich aus der Masse von U-235 mit
 
$$M_{U234} = 0,033 * M_{U235} \text{ und}$$

$$M_{U238} = 332,3 * M_{U235}.$$
- Aus den Isotopenmassen werden die jeweiligen Aktivitäten zum Stichtag berechnet.
- Alle Chargen der ID 294 enthalten nach dieser Berechnung U-235 mit einem Massenanteil von 0,3 %.

Die jeweiligen Angaben auf Lieferschein, Fragebogen, Kontrollbuch und in der Datentabelle „Kernbrennstoffe-mod“ eingetragene Daten sind in Tabelle 25 zusammengefasst. Hieraus lässt sich ableiten, dass die Angaben in der ASSEKAT dem Fragebogen entnommen wurden. Die U-235-Massen und Massenverhältnisse werden auch durch die Berechnung zum Stichtag 01.01.1980 mittels PAI in der Ergebnistabelle „ISS Kataster“ ausgegeben. Es wurden folgende Abweichungen zwischen dem Fragebogen/Kontrollbuch und dem Lieferschein bzgl. der U-235-Massen identifiziert:

Auf dem Fragebogen zu ID 294 sind die 15 Fässer der Charge 1290 als abgereichertes Urandioxid deklariert. Die U-235-Masse von 1.516,75 g wurde auf dem zugehörigen Fragebogen mit einem mittleren Massenanteil von 0,3 % berechnet und entsprechend in „Kernbrennstoffe-mod“ eingetragen. Die Berechnung mit PAI für diese Charge gibt 1.516,06 g aus. Auf dem zugehörigen Lieferschein werden jedoch Massenanteile für U-235 von 0,22 % und 0,4 % bei den Gebinden unterschieden. Hieraus resultiert für Charge-Nr. 1290 eine geringere Gesamtmasse von 1.191 g U-235. Diese Massenangabe wurde gem. Lieferschein auch an die Euratom gemeldet.

Die 12 Fässer der Charge 1292 werden auf dem Lieferschein mit U-235-Massenanteilen von „1,677562 %“ für ein Fass und „2,346684 %“ für die übrigen elf Fässer angegeben. Die Charge wird in der ASSEKAT jedoch ebenfalls mit dem mittleren Massenanteil von 0,3 % beaufschlagt.

Der Nachtrag 7a/68 zu dem Lieferschein 7/68 zu ID 294 (s. Tabelle 25) wurde offensichtlich der Chargen-Nr. 1295 zugerechnet (vgl. Anzahl Gebinde auf Lieferschein und in der ASSEKAT). Dieser enthält gem. Lieferschein ein Fass mit einem Massenanteil von 0,4 % für U-235. Dies wird ebenfalls nicht in der Berechnungsroutine berücksichtigt.

Tabelle 25: Dokumentationslage zu Chargen der ID-Nr. 294 des Ablieferer KRT in der ELK 4/750

ID-Nr.	Lieferschein					Fragebogen		Fasskontrollbuch		ASSEKAT/ „Kernbrennstoffe-mod“			
	Lieferschein-Nr.		Masse UO <sub>2</sub> [g]	Massenanteil U-235 [%]	Masse U-235 [g]	Anzahl Fässer	Masse U-235 [g]	Anzahl Fässer	Masse U-235 [g]	Masse UO <sub>2</sub> [g]	Chargen-Nr.	Masse U-235 [g]	Anzahl Fässer
294	7/68	Transport I	487.516	0,22	945	10	1.516,75	45	1.348,7	167,99	1290	1.516,75	15
294	7/68	Transport I	69.913	0,4	246	5					1290		
294	7/68	Transport I	k.A.	k.A.	663,77	30					1291		
294	8/68	Transport II	389	1,6775	6	1	10,56	107	10,56	k.A.	1292	10,56	12
294	8/68	Transport II	4.952	2,3467	102	11				k.A.	1292		
294	7/68	Transport II	k.A.	k.A.	453,17	22	453,17	444,72	k.A.	1293	453,17	22	
294	7/68	Transport II	k.A.	k.A.	33,44	15	33,44	33,44	k.A.	1294	33,44	15	
294	7/68	Transport II	k.A.	k.A.	51,04	58	51,04	51,04	k.A.	1295	51,04	59	
zu 294	7a/68	Nachtrag	4,717	0,4	17	1	-	-	-	-	zu 1295	-	-
	Summe		562.775	-	2.517,4	153	2.728,7	152	2.469,9	260,05	-	2.728,7	153

**Update und Überarbeitung der Datenbank für das in  
die Schachtanlage ASSE II eingelagerte  
Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)**

Projekt	PSP-Element	Funktion / Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AAANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 82



BUNDESGESellschaft  
FÜR ENDLagerung

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 83
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Bei korrekter Anwendung der dokumentierten Masseverhältnisse auf die Uran-Isotopenmassen für die Chargen-Nr. 1290, 1292 und 1295 werden die in Tabelle 26 angegebenen Massen berechnet. Die Massen zu den Chargen-Nr. 1291, 1293 und 1294 bleiben durch die Anpassungen entsprechend der Originaldokumentation unverändert.

Tabelle 26: Änderung der Massen von U-234, U-235 und U-238 bei Anpassung der Masseverhältnisse

	Chargen-Nr.	U-234 [g]	U-235 [g]	U-238 [g]	Summe [g]
Masse [g]; neu berechnet	1290	26,60	1.191,00	489.872,80	<b>491.045,50</b>
	1292	0,25	108,00	4.596,00	<b>4.704,20</b>
	1295	1,69	51,02	16.945,21	<b>4.704,20</b>
	1295 - Nachtrag (1 Fass)	0,23	17,00	4.232,80	<b>4.250,00</b>
	<b>Summe</b>		<b>28,77</b>	<b>1.367,02</b>	<b>515.646,81</b>
Masse [g]; alte Werte	1290	50,10	1.516,06	503.558,99	<b>505.125,15</b>
	1292	0,35	10,56	3.505,91	<b>3.516,82</b>
	1295	1,69	51,02	16.945,21	<b>16.997,92</b>
	<b>Summe</b>	<b>52,14</b>	<b>1.577,64</b>	<b>524.010,11</b>	<b>525.639,89</b>
Masse [g]; unverändert übernommen	1291	21,92	663,47	220.370,77	<b>221.056,16</b>
	1293	14,97	452,96	150.451,85	<b>150.919,78</b>
	1294	1,10	33,42	11.102,04	<b>11.136,56</b>
	<b>Summe</b>	<b>37,99</b>	<b>1.149,85</b>	<b>381.924,66</b>	<b>383.112,50</b>
Summe ID 294 [g]	neu berechnet	66,76	2.516,87	897.571,47	<b>900.155,10</b>
	alte Werte	90,13	2.727,49	905.934,77	<b>908.752,39</b>

Unter Berücksichtigung der dokumentierten Masseverhältnisse zu U-235 ergeben sich somit in Summe um 210,62 g niedrigere U-235-Massen für die Chargen der ID-Nr. 294. Wie in [10] dargestellt, ist diese Differenz in Relation zum Gesamtinventar wenig bedeutsam. Um einen stärkeren Bezug zur Einlagerungsdokumentation zu erhalten, werden die Massenangaben zu diesen Chargen jedoch angepasst.

### 14.3 Anpassung des VBA-Codes / der ASSEKAT

Für die Chargen 1290, 1292 und 1295 wurde der VBA-Code durch Einführung der neuen Berechnungsroutinen KRT\_6a, KRT\_6b und KRT\_6c wie folgt angepasst:

*Case "KRT\_6a", "KRT\_6b", "KRT\_6c"*

*M\_U234 = Parameter1(ID\_BerRoutine) \* Parameter3(ID\_BerRoutine) \* M\_U235 +  
Parameter2(ID\_BerRoutine) \* Parameter4(ID\_BerRoutine) \* M\_U235*

*M\_U238 = Parameter1(ID\_BerRoutine) \* Parameter5(ID\_BerRoutine) \* M\_U235 +  
Parameter2(ID\_BerRoutine) \* Parameter6(ID\_BerRoutine) \* M\_U235*

*Akt\_U234*

*Akt\_U235*

*Akt\_U238*

*Berechnet*

Parameter 1 und 2 geben hierbei das Verhältnis von U-235 pro Anzahl Fässer an der Gesamtmasse U-235 pro Charge an. Parameter 3 und 4 geben das Massenverhältnis zwischen U-234 zu U-235 an, Parameter 5 und 6 jeweils das Massenverhältnis zwischen U-238 und U-235.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 84
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Die Zahlenwerte zu Parameter 1 bis 6 sind in Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27: Parameterwerte zur Berechnung der unterschiedlichen Massenverhältnisse für die Chargen der ID-Nr. 294

Berechnungs routine	ChNr.	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4	Parameter 5	Parameter 6
KRT_6a	1290	0,793	0,207	0,0245	0,0135	453,521	248,986
KRT_6b	1292	0,056	0,944	0,0032	58,607	41,611	0,02
KRT_6c	1295	0,75	0,25	0,007496	0,0135	137,8	248,986

## 15 Zusammenfassung

Mit der Fortführung der Überarbeitung der ASSEKAT 10.0 wurden weitere Defizite behoben. Die folgenden Anpassungen sind nun in der ASSEKAT 11.0 enthalten:

- **Defizit D-1: Erweiterung der ASSEKAT zur Ermittlung des Kernmaterialbestands**  
Mit Einführung eines neuen Berechnungsmoduls besteht nun die Möglichkeit, die Kernmaterialbilanzierung chargen- bzw. gebindeweise ausgeben zu lassen und eine Einteilung in LEU/HEU gem. Definition der Euratom vorzunehmen.
- **Defizit D-3: Dokumentation der verfügbaren Angaben zu den Anreicherungsgraden**  
Durch die Dokumentation der verfügbaren Angaben zu den Anreicherungsgraden in der Datentabelle „Kernbrennstoffe-mod“ lassen sich nun die hinterlegten bzw. berechneten Anreicherungsgrade nachvollziehen (vgl. Defizit D-1). Sollten noch weitere Erkenntnisse aus Originalunterlagen erlangt werden, können diese entweder in den betreffenden Berechnungsroutinen oder direkt in der Datentabelle „Kernbrennstoffe-mod“ übernommen werden.
- **Defizit D-11: Hochrechnung der Dosisleistungen**  
Mit einem neuen Modul zur Hochrechnung der Dosisleistungen der eingelagerten Gebinde wurden zunächst zu diesem Zweck die fehlenden Massenangaben zu den Chargen mittels heuristischer Methoden abgeschätzt. Auf Basis dessen sowie unter Berücksichtigung vorhandener Angaben zur Oberflächendosisleistung (ODL) von Chargen wurden mittels Machine Learning-Methoden ODL-Werte für alle Gebinde imputiert. Dies ermöglicht es nun, Vorhersagen zu dem Umfang ggf. erforderlicher Strahlenschutzmaßnahmen im Rahmen der Rückholung zu treffen.
- **Defizit D-12: Überprüfung der Nuklidaktivitäten**  
Mit der Überprüfung der Nuklidaktivitäten wurde die Ergebnistabelle „ISS Kataster“ dahingehend überarbeitet, dass nun eindeutig erkennbar wird, ob echte Null-Werte berechnet wurden, oder ob <NULL>-Werte, d. h., keine gültigen Daten aufgrund fehlender Berechnungsgrundlagen vorliegen. Zudem fand eine Überprüfung der NULL-Chargen statt, im Hinblick auf deren Relevanz zum Gesamtinventar und möglicher Datennacherhebungen.
- **Defizit D-16: Berücksichtigung kurzlebiger Nuklide**  
Die Berücksichtigung kurzlebiger Nuklide erfolgte im Rahmen der Implementierung des Zerfallsmoduls (Defizit D-24).
- **Defizit D-23: Fallunterscheidungen im VBA-Code**  
Bisher waren die chargenspezifischen Berechnungsroutinen im VBA-Code verteilt, darin hart codiert und überwiegend nicht dokumentiert. Mit den durchgeführten Überarbeitungen wurden diese Berechnungsroutinen neu strukturiert und die Berechnungsparameter als Datentabelle in der ASSEKAT eingeführt. In „Chargen-mod“ ist mittels relationaler

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 85

Verknüpfung eine Zuordnung von Berechnungsroutine je Charge erfolgt. Dies ermöglicht es, auf übersichtliche Weise die Berechnungen pro Charge nachzuvollziehen und ggf. – z. B. auf Basis neuer Erkenntnisse zu einzelnen Chargen – die Berechnungsroutine gezielt anzupassen.

- Defizit D-24: Implementierung eines Zerfallsmoduls**  
Mit Implementierung eines Zerfallsmoduls werden nun alle relevanten Zerfallsketten je Chargen berechnet. Bei Bedarf können die Tochternuklidaktivitäten, welche keine Katasternuklide darstellen, in einer separaten Ergebnistabelle ausgewiesen werden.
- Defizit D-27: Abfragen zur Aktivitätsberechnung nach Zerfallsarten**  
Mit der Überarbeitung der Abfragen zur Aktivitätsberechnung nach Zerfallsart (Alpha und Beta/Gamma) wurde eine automatische Anpassung der Abfrage an die jeweils ausgewählten Katasternuklide durchgeführt. Somit ist nun gewährleistet, dass keine Differenzen mehr zwischen den Ergebnissen der „ISS Kataster“ und der Abfrage entstehen können.
- Defizit D-28: Chargen mit Kernbrennstoffen in ELK 4/750**  
Die Chargen der ID-Nr. 294 wurden bislang mit einem einheitlich beaufschlagten Massenverhältnis von 0,3 % U-235 berechnet. Dies entspricht jedoch nicht der Einlagerungsdokumentation, welche auch angereichertes U-235 ausweist. Durch die Anpassung der Berechnungsroutinen zu diesen Chargen wird nun die korrekte Berechnung der U-235-Massen bzw. Aktivitäten pro Charge/Gebinde sichergestellt.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 86
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

## 16 Literaturverzeichnis

- [1] Brenk Systemplanung GmbH (2023): Zusammenstellung des Überarbeitungsbedarfes und Dokumentation des Überarbeitungsstandes der Datenbank ASSEKAT. Brenk Systemplanung GmbH, Aachen. BGE-SZ-KZL: 9A/25110000/MAM/RB/0004/00.
- [2] Brenk Systemplanung GmbH (2021): Evaluierung des Kernbrennstoffinventars in der Schachanlage Asse II. Brenk Systemplanung GmbH, Aachen. BGE-SZ-KZL: 9A/25110000/MAM/RZ/0003/00.
- [3] TÜV Süd Industrie Service GmbH (2011): Schachanlage Asse II - Bericht zur Überprüfung des Abfallinventars 1. Einzelbeauftragung: Überprüfung der Kernbrennstoffdaten - Teil A. BfS-KZL: 9A/25100000/MAL/RA/0003/00.
- [4] TÜV Süd Industrie Service GmbH (2011): Schachanlage Asse II - Bericht zur Überprüfung des Abfallinventars 1. Einzelbeauftragung: Überprüfung der Kernbrennstoffdaten - Teil B. BfS-KZL: 9A/25100000/MAL/RA/0004/00.
- [5] C. Herzog, K. Kugel, M. Ranft, U. Regenauer (2011): Erkenntnisse des BfS zum Abfallinventar der Schachanlage Asse II, Stand: Juli 2011, Fachbereich Sicherheit nuklearer Entsorgung. BfS-KZL: 9A/25100000/M/RE/0002/00.
- [6] K. Kugel, M. Ranft, U. Regenauer (2009): Untersuchungen und Erkenntnisse des BfS zum Abfallinventar der Schachanlage Asse II, Stand: September 2009, Fachbereich Sicherheit nuklearer Entsorgung, Anlage 16. BfS-KZL: 9A/25100000/M/RE/0001/00.
- [7] Brenk Systemplanung GmbH (2025): Dokumentation der Datenbank ASSEKAT 11.0. Brenk Systemplanung GmbH, Aachen. BGE-SZ-KZL: 9A/25110000/MAM/RB/0009/00.
- [8] Arge KR (2019): Konzeptplanung zur vorgezogenen Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der ELK 7/725 Arbeitspaket 07: Erkundungsprogramm. Uniper, Deilmann-Haniel, ERCOSPLAN, TÜV Rheinland. BGE-SZ-KZL: 9A/23530000/GHB/RZ/0117/00.
- [9] U. Gerstmann, G. Rosner (2001): Aktualisierung des Radionuklidinventars der Schachanlage Asse. Abschlussbericht. GSF. BfS-KZL: 9A/25100000/M/RB/0003/00.
- [10] U. Gerstmann, H. Meyer, M. Tholen (2002): Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachanlage Asse. Abschlussbericht. GSF. BfS-KZL: 9A/25100000/LAB/RB/0001/00.
- [11] A.J.M. Plompen, O. Cabellos, C. De Saint Jean, M. Fleming, A. Algora, M. Angelone, P. Archier, E. Bauge, O. Bersillon, A. Blokhin, F. Cantargi, A. Chebboubi, C. Diez, H. Duarte, E. Dupont, J. Dyrda, B. Erasmus, L. Fiorito, U. Fischer, D. Flammini, D. Foligno, M.R. Gilbert, J.R. Granada, W. Haeck, F.-J. Hamsch, P. Helgesson, S. Hilaire, I. Hill, M. Hursin, R. Ichou, R. Jacqmin, B. Jansky, C. Jouanne, M.A. Kellett, D.H. Kim, H.I. Kim, I. Kodeli, A.J. Koning, A.Yu. Konobeyev, S. Kopecky, B. Kos, A. Krása, L.C. Leal, N. Leclaire, P. Leconte, Y.O. Lee, H. Leeb, O. Litaize, M. Majerle, J.I. Márquez Damián, F. Michel-Sendis, R.W. Mills, B. Morillon, G. Noguère, M. Pecchia, S. Pelloni, P. Pereslavtsev, R.J. Perry, D. Rochman, A. Röhrmoser, P. Romain, P. Romojaro, D. Roubtsov, P. Sauvan, P. Schillebeeckx, K.H. Schmidt, O. Serot, S. Simakov, I. Sirakov, H. Sjöstrand, A. Stankovskiy, J.C. Sublet, P. Tamagno, A. Trkov, S. van der Marck, F. Álvarez-Velarde, R. Villari, T.C. Ware, K. Yokoyama, G. Žerovnik: „The joint evaluated fission and fusion nuclear data library, JEFF-3.3“; Eur. Phys. J. A56(2020)181.
- [12] scikit-learn developers (2024): Scikit-learn Machine Learning in Python. URL: [https://scikit-learn.org/stable/user\\_guide.html](https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html).
- [13] Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München (1972): Vorläufige Bedingungen für die Versuchseinlagerung mittelradioaktiver Abfallstoffe im Salzbergwerk Asse. September 1972.
- [14] Bundesamt für Strahlenschutz (1975): Bedingungen für die Lagerung von schwachradioaktiven Abfälle im Salzbergwerk Asse. GSF. BfS-KZL: 9A/25200000/MAO/RB/0003/00.

# Update und Überarbeitung der Datenbank für das in die Schachanlage ASSE II eingelagerte Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 87

- [15] G. Schulze-Pilot (1973): Raum- und Abluftüberwachung in einem Industrielaboratorium. In: Fachverband für Strahlenschutz e.V., Arbeitskreis „Arbeitsplatzüberwachung“: Raum- und Abluftüberwachung auf Radioaktivität, Kolloquium am 15. und 16. November 1973 in Karlsruhe, pp. 173.

**Update und Überarbeitung der Datenbank für das  
in die Schachanlage ASSE II eingelagerte  
Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	25110000				MAM	RB	0007	00

Blatt: 88

Anhang 1: Dokumentation der Roteinträge aus den Fasskontrollbüchern

Lfd.Nr.	Datum von	Datum bis	Ablieferer	U-nat [kg]	U-235 [g]	U-233 [g]	U-238 [g]	U-abger [g]	Pu-238 [g]	Pu-239 [g]	Pu-241 [g]	sonst. Anmerkung	Vergleich mit "Kernbrennstoffe- mod", Kernbrennstoffmeldungen, Begleitlisten
1	01.11.1971	11.04.1972	GFK/KFK							60		in 1797 Fässern angeliefert	
2	01.06.1972	04.07.1972	GFK/KFK	430	1855					1178			
3	26.07.1972	31.07.1972	GFK/KFK	402,911	1206,865					1061,28			
4	31.08.1972	05.10.1972	GFK/KFK	53,27	289					2588,339			
5	09.10.1972	05.12.1972	GFK/KFK	34,719	363,71					95,4			
6		15.12.1972	TN		300								
7	08.03.1973	29.03.1973	GFK/KFK	151,913	511,573					1343,079			
8	08.03.1973	29.03.1973	GFK/KFK							86,4			Pu-Wert in KB-mod höher: 96 g
9	02.04.1973	02.05.1973	GFK/KFK	77,182	190,169					388,247			
10	05.04.1973	27.04.1973	GFK/KFK	30	28					37,8			
11	04.10.1973	25.10.1973	GFK/KFK	300	276					405		nur 4., 5.,12.,15.,18., 25.10	
12		30.10.1973	KFA	310,041	255,713	3,92		31,601		0,05			
13	08.01.1974	31.01.1974	GFK/KFK	44,864	325,344					816,398		Pu-239: 734,758, Pu-241: 81,64	
14	01.02.1974	21.02.1974	GFK/KFK	30,062	410,22					908,412		Pu-239: 817,579, Pu-241: 40,841	
15	01.04.1974	04.07.1974	GFK/KFK	30	540					673,2	74,2		
16	01.05.1974	31.05.1974	GFK/KFK		134					45	5		
17		19.09.1974	TN		3600								
18	04.07.1974	29.11.1974	GFK/KFK	53,589	481,219					393,092	42,566		
19	02.12.1974	19.12.1974	GFK/KFK	12,704	50,2					105,599	11,733		
20	16.01.1975	30.01.1975	GFK/KFK	24,276						114,966	12,774		
21	03.02.1975	26.03.1975	GFK/KFK	139,579	135,7					375,512	41,724		
22	03.02.1975	26.03.1975	GFK/KFK	21,57	345,472					75,441	8,382		
23		21.02.1975	GFK/KFK	2,921	75					4,153	0,461	Nachmeldung	
24	01.04.1975	25.04.1975	GFK/KFK	33,855	19,75					122,334	13,593		
25	01.04.1975	25.04.1975	GFK/KFK	11,288	3,036					80,32	8,93	FZK MAW	
26	23.05.1975	30.05.1975	GFK/KFK	5,321						12,721	1,413		
27	23.05.1975	30.05.1975	GFK/KFK	4,274	2,54					13,664	1,518		
28	03.06.1975	26.06.1975	GFK/KFK	46,813						53,663	5,963		
29	03.06.1975	26.06.1975	GFK/KFK	29,926	18,578					50,37	5,6		durch TÜV Änderung stimmt Summe U nicht mehr mit FKB überein: 17.375 g anstelle 29.926 g
30	04.08.1975	29.08.1975	GFK/KFK	20,1714	243,498					314,075	34,897		
31		01.09.1975	KFA	252,628	468,81	0,003							
32	02.09.1975	23.09.1975	GFK/KFK	21,234	115,54					294,193	32,688		Abweichung ok, da U-nat-Wert an konservativere Angabe gem. Bgl. angepasst wurde
33	02.09.1975	16.09.1975	GFK/KFK	1,522						15,24	1,69		
34	02.10.1975	27.10.1975	GFK/KFK	81,8297	269,124					576,462	64,107		
35		08.10.1975	GKSS		18,1								
36		13.10.1975	GKSS		22,94								
37		20.10.1975	GKSS		22,94								
38		10.+30.10.75	GFK/KFK	1,977						9,685	1,076		

**Update und Überarbeitung der Datenbank für das  
in die Schachanlage ASSE II eingelagerte  
Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 89
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Lfd.Nr.	Datum von	Datum bis	Ablieferer	U-nat	U-235	U-233	U-238	U-abger	Pu-238	Pu-239	Pu-241	sonst. Anmerkung	Vergleich mit "Kernbrennstoffe-mod", Kernbrennstoffmeldungen, Begleitlisten
				[kg]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]		
39	05.11.1975	25.11.1975	GFK/KFK	37,1148	244,712					664,428	73,825		
40		7.+14.11.75	GFK/KFK	1,034						3,254	0,362		
41	01.12.1975	02.12.1975	KFA	49,508	56,75		459,72	6646					Abweichung durch Summenfehler in KBM, vernachlässigbar
42		3.+12.12.75	GFK/KFK	0,771	43,114					34,089	3,788		
43		04.12.1975	TN		228								
44	02.12.1975	22.12.1975	GFK/KFK	862,019	155,14					1120,007	124,445		
45	12.01.1976	30.01.1976	GFK/KFK	10,601	19,352					9,025	1,003		
46	02.02.1976	26.02.1976	GFK/KFK	43,815	114,838					111,21	12,36		
47	04.03.1976	22.03.1976	GFK/KFK	30,781	124,075					109,3	12,144		
48	01.04.1976	26.04.1976	GFK/KFK	41,785	257,037					100,416	11,157		U-235 Zahldreher in FKB
49	03.05.1976	31.05.1976	GFK/KFK	18,449	47,892					304,024	33,781		Anpassung gem. TÜV SÜD, nicht in FKB Lfd.Nr. 49 enthalten
50	28.05.1976	31.08.1976	GFK/KFK	62,819	172,41					227,31	25,257		
51	01.09.1976	01.10.1976	GFK/KFK	132,755	176,509					207,736	23,082		
52		30.09.1976	GSF Nhg		6,2								
53	01.10.1976	30.11.1976	GFK/KFK	28,587	159,412					111,157	12,351		
54	01.12.1976	31.12.1976	GFK/KFK	36,076	137,178					127,235	14,137		
55	01.01.1977	31.01.1977	GFK/KFK	38,877	31,283					50,192	5,577		
56	01.02.1977	28.02.1977	GFK/KFK	31,985	48,684					102,715	11,413		
57	01.03.1977	31.03.1977	GFK/KFK	31,479	116,313					182,572	20,286		
58	01.04.1977	30.04.1977	GFK/KFK	130,68	140,935					49,437	5,493		
59	01.05.1977	31.05.1977	GFK/KFK	22,345	124,895					30,19	3,355		
60	01.06.1977	30.06.1977	GFK/KFK	5,786	31,135					7,481	0,831		
61	01.07.1977	31.07.1977	GFK/KFK	20,453	156,408					27,814	3,09		
62	01.08.1977	30.09.1977	GFK/KFK	65,132	569,506					100,006	11,112		
63		03.08.1977	RBU		54								
64		26.10.1977	RBU		19								
65		23.11.1977	MPI		0,011								
66	01.10.1977	30.11.1977	GFK/KFK	75,482	538,312					509,663	56,629		
67	01.12.1977	31.12.1977	GFK/KFK	18,972	149,214					317,944	35,327		
68		24.01.1978	RBU		135								
69	01.01.1978	03.02.1978	GFK/KFK	12,777	36,516				4,954	210,171	39,982		Angaben wurden gem. Bgl. eingegeben, da höher als KBM und FKB
70	04.02.1978	02.03.1978	GFK/KFK	7,33	40,507				8,413	356,95	67,905		
71	03.03.1978	03.04.1978	GFK/KFK	5,975	49,351				14,414	611,552	116,339		
72	05.04.1978	07.05.1978	GFK/KFK	19,31	148,298				1,265	136,022	14,762		
73		10.05.1978	RBU		135								
74		23.05.1978	KWU Karlstein		5,834								
75	03.05.1978	30.05.1978	GFK/KFK	86,144	172,836				3,854	414,256	44,958	Pu-238: 0,002, Pu-239: 0,106, Pu-241: 0,015	Werte in ASSEKAT gem. Begleitliste übernommen
76	30.05.1978	02.06.1978	GFK/KFK	10,029	83,063				1,947	209,263	22,711		
77		20.06.1978	RBU		135								
78	05.06.1978	04.07.1978	GFK/KFK	67,248	474,492				2,038	219,054	23,773		

**Update und Überarbeitung der Datenbank für das  
in die Schachanlage ASSE II eingelagerte  
Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 90
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Lfd.Nr.	Datum von	Datum bis	Ablieferer	U-nat	U-235	U-233	U-238	U-abger	Pu-238	Pu-239	Pu-241	sonst. Anmerkung	Vergleich mit "Kernbrennstoffe-mod", Kernbrennstoffmeldungen, Begleitlisten
				[kg]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]		
79	04.07.1978	03.08.1978	GFK/KFK	18,489	152,191				1,229	132,064	14,332		FKB stimmt mit KBM überein, in ASSEKAT wurden höhere Werte der Bgl. gewählt
80	03.08.1978	01.09.1978	GFK/KFK	5,547	50,326				1,117	120,019	13,025		
81		07.09.1978	NUK		509								
82		13.09.1978	RBU		387								
83	04.09.1978	02.10.1978	GFK/KFK	13,267	87,704				0,164	17,614	1,911		Angaben gem Bgl. Eingegeben, da dort höher
84		19.10.1978	RBU		135								
85		25.10.1978	KWU Erlangen		38,1		2114						
86	04.10.1978	02.11.1978	GFK/KFK	68,803	378,865				0,966	103,833	11,269		U235 und U-Massen wurden nachträglich gem TÜV Süd geändert, daher keine Übereinstimmung mehr mit FKB
87		21.11.1978	RBU		243								
88	03.11.1978	01.12.1978	GFK/KFK	109,495	441,618				3,748	402,905	43,726		Werte in ASSEKAT stimmen mit KBM überein
89		01.12.1978	RBU		300								
90		08.12.1978	RBU		300								
91		14.12.1978	MPI		0,306								
92		18.12.1978	RBU		564								
93		19.12.1978	KWU Erlangen		114,85								
94		22.12.1978	TN							0,198	0,022		
95	06.12.1978	28.12.1978	GFK/KFK	77,776	432,453				6,784	729,314	19,15		Abweichung, da unterschiedliche Angaben in KBM und Bgl. Stehen und die jew. höheren in KBM-mod eingetragen wurden
96													
97	04.07.1974	17.09.1974	GFK/KFK	1,212	80,991					92,886	10,321		
98	17.+28.1.75		GFK/KFK	7,163	37,5					44,381	4,931		
99	30.01.1976		GFK/KFK	0,111						13,05	1,45		
100	03.02.1976	27.02.1976	GFK/KFK	11,929	277,704					111,153	12,35		
101	02.03.1976	30.03.1976	GFK/KFK	28,737	445,835					219,939	24,438		
102	02.04.1976	27.04.1976	GFK/KFK	5,333	65,152					62,832	6,981		
103	30.04.1976	07.05.1976	GFK/KFK	4,519	92,799					48,398	5,378		
104	28.05.1976	31.08.1976	GFK/KFK	44,621	88,264					246,198	27,355		
105		15.09.1976	KFA		69,74					5,94			
106	01.09.1976	01.10.1976	GFK/KFK	6,289	110,578					114,162	12,685		
107		27.10.1976	KFA	0,05	127,78					2			
108		10.11.1976	KFA		109,1					0,002			
109		22.11.1976	KFA		59,94					0,35			
110		01.12.1976	KFA		8,1	2,98							
111		10.12.1976	KFA	50	127,78					2			
112	01.10.1976	30.11.1976	GFK/KFK	22,936	472,515					251,388	37,933		

**Update und Überarbeitung der Datenbank für das  
in die Schachanlage ASSE II eingelagerte  
Abfallinventar (ASSEKAT 10.0)**



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 91
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RB	0007	00	

Lfd.Nr.	Datum von	Datum bis	Ablieferer	U-nat	U-235	U-233	U-238	U-abger	Pu-238	Pu-239	Pu-241	sonst. Anmerkung	Vergleich mit "Kernbrennstoffe-mod", Kernbrennstoffmeldungen, Begleitlisten
				[kg]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]		
113		22.12.1976	KFA		120,03	3,63							
114	01.12.1976	31.12.1976	GFK/KFK	13,856	260,486					111,979	12,442		Pu nicht aufgeteilt in ASSEKAT
115		13.02.1968	KRT		1516,75								Defizit D-28
116		20.02.1968	KRT		32,56								
117	03.01.1972		TN		440								
118	13.01.1972		GFK/KFK							553			