

**GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
Forschungsbergwerk Asse**

**Bestimmung des Inventars an chemischen
und chemotoxischen Stoffen in den
eingelagerten radioaktiven Abfällen
der Schachanlage Asse**

Abschlussbericht

März 2004

**B. Buchheim
Buchheim Engineering**

**H. Meyer, M. Tholen
Forschungsbergwerk Asse**

Exemplar für BMBF und BMU

Dieser Bericht wurde im Auftrag und von der GSF - Forschungszentrum GmbH erstellt. Die GSF - Forschungszentrum GmbH behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der GSF - Forschungszentrum GmbH zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	VORGEHENSWEISE	2
3	HERKUNFT UND RAHMENBEDINGUNGEN DER EINGELAGERTEN ABFÄLLE	5
4	GRUNDLAGEN FÜR DIE ABSCHÄTZUNG DES ABFALLINVENTARS	6
4.1	Abfallbehälter der radioaktiven Abfälle	7
4.1.1	Abfallbehälter der schwachradioaktiven Abfälle.....	7
4.1.2	Abfallbehälter der mittelradioaktiven Abfälle	8
4.1.3	Berechnungsgrundlagen für die Materialien der Abfallbehälter.....	9
4.2	Fixierungsmittel der radioaktiven Abfälle.....	10
4.3	Radioaktive Abfälle.....	12
4.3.1	Verfestigte Abfälle	14
4.3.2	Feste Abfälle	15
4.3.3	Verbrennungsrückstände	19
4.3.4	Mischkategorien	19
4.4	Luft und Wasser in den eingelagerten Abfallgebinden.....	19
5	GRUNDLAGE ZUR ERMITTLUNG GRUNDWASSERGEFÄHRDENDER STOFFE SOWIE WEITERER CHEMOTOXISCHER STOFFE	20
5.1	Grundwassergefährdende Stoffe.....	20
5.2	Chemotoxische Stoffe.....	21
5.2.1	Organisch chemotoxische Stoffe	22
5.2.2	Anorganisch chemotoxische Stoffe	22
6	MATERIALIEN, KOMPONENTEN UND ELEMENTE IM ABFALLINVENTAR DER SCHACHTANLAGE ASSE	23
6.1	Systematik der Erfassung und Datenauswertung	23
6.1.1	Datenbasis	23
6.1.2	Überprüfung der Datenbasis	23
6.1.3	Zwiebelschalenprinzip	30
6.1.4	Materialschichtmodell	32
7	ERGEBNISSE	34
7.1	Inventarmassen	34
7.2	Massen der Materialien.....	35
7.3	Massen der grundwassergefährdenden Stoffe.....	40
7.4	Massen der chemotoxischen Stoffe	44
7.4.1	Massen der organisch chemotoxischen Stoffe	45
7.4.2	Massen der anorganisch chemotoxischen Stoffe.....	46
7.5	Massen der Spurenelemente Uran- und Thorium	47
8	BANDBREITE DES ABFALLINVENTARS	48
9	ABFALLINVENTAR AN CHEMISCH UND CHEMOTOXISCHEN STOFFEN FÜR DIE EINHALTUNG DER GWVO	51
10	QUELLENVERZEICHNIS	52
ANHANG A		1
A.1	Grundlagen zur Erstellung der Liste von chemotoxischen Stoffen.....	1
A.2	Organische chemotoxische Stoffe Verbindungsklassen, Verbindungen und typische Klassenvertreter.	2
A.3	Anorganische chemotoxische Stoffe Metalle, Metallverbindungen und Nichtmetalle.....	4
ANHANG B DETAILLIERTE ERGEBNISTABELLEN		1
B.1.	Gesamtinventar aus allen Stoffuntergruppen (SUG) und allen Kammern, alle Beiträge; geordnet nach Masse der Materialien [kg]	1
B.2.	Gesamtinventar aus allen Stoffuntergruppen (SUG) und allen Kammern, alle Beiträge; geordnet nach Masse der Materialien in Abfällen, Abfallbehältern und Fixierungsmitteln [kg]	4
B.3.	Anorganische und organische Komponenten gesamt (in kg), sortiert nach Komponenten	7
B.4.	Elemente in anorganischer bzw. organischer Bindung gesamt (in kg), sortiert nach Elementen	13

Tabellenverzeichnis

Tabelle 6-1:	Massenanteile des Inventars (Abfall, Abfallbehälter, Fixierungsmittel).....	26
Tabelle 6-2:	Massenanteile der Stoffgruppen (SG) im Abfall.....	26
Tabelle 6-3:	Massenanteile der Stoffuntergruppen (SUG) im Abfall.....	28
Tabelle 7-1:	Massenanteile des Inventars aus allen Einlagerungskammern (alle Beiträge).....	35
Tabelle 7-2:	Massenanteile des Inventars (Abfall, Abfallbehälter, Fixierungsmittel).....	35
Tabelle 7-3:	Massenanteile der Materialien - alle Beiträge.....	36
Tabelle 7-4:	Massenanteile der Materialien im Abfall.....	38
Tabelle 7-5:	Massenanteile der Materialien im Abfallbehälter.....	39
Tabelle 7-6:	Massenanteile der Materialien im Fixierungsmittel.....	39
Tabelle 7-7:	Massenanteile grundwassergefährdender Stoffe.....	40
Tabelle 7-8:	Massenanteile organisch chemotoxischer Stoffe.....	45
Tabelle 7-9:	Massenanteile anorganischer chemotoxischer Stoffe.....	47

Exemplar für BMBF und BMU

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Überblick der Arbeiten, die der Ermittlung der Materialien, Komponenten und Elemente zu Grunde liegen	3
Abbildung 4-1: Vorgehensweise bei Abschätzung der Materialien der Abfallgebinde	6
Abbildung 4-2: Prozentuale Verteilung der Fixierungsmittel, bezogen auf die Anzahl der eingelagerten Abfallgebinde	10
Abbildung 4-3: Prozentuale Verteilung der Abfälle auf die verschiedenen Abfallkategorien, bezogen auf die Anzahl der eingelagerten Abfallgebinde	13
Abbildung 4-4: Prozentuale Verteilung der Abfallarten (Stoffgruppen) in den Abfallgebinden mit verfestigten Abfällen, bezogen auf die Anzahl der eingelagerten Abfallgebinde	14
Abbildung 4-5: Prozentuale Verteilung der Abfallarten (Stoffgruppen) in den Abfallgebinden mit festen Abfällen, bezogen auf die eingelagerten Abfallgebinde	16
Abbildung 6-1: Zwiebschalenprinzip am Beispiel der Verdampferkonzentrate (VDK) aus Druck- und Siedewasserreaktoren (DWR/SWR)	31

Exemplar für BMBW und BMU

Abkürzungsverzeichnis

BTEX	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol, Styrol, Cumol
Chelate	z. B. EDTA, NTA
DDBSA	Dodecylbenzolsulfonat Na-Salz
DDD	Dichlordiphenyldichlorethan
DDE	Dichlordiphenyldichlorethylen
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
DWR	Druckwasserreaktor
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure (-acetat)
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Terpolymere (Kautschuk)
FE-Metalle	Eisenbasismetalle
FHM	Filterhilfsmittel (z. B. Kieselgur, Zellulose)
GFK/KFK	Kernforschungszentrum Karlsruhe (jetzt FZ Karlsruhe)
GGG40	Gusseisen mit Kugelgraphit
GWVO	Grundwasserverordnung
KFA	Kernforschungszentrum Jülich (jetzt FZ Jülich)
Komplexbildner	z. B. Citronensäure (-citrate), Weinsäure (-tartrate), Oxalsäure (-oxalate)
LAW	schwach radioaktive Abfälle
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
MAW	mittelradioaktive Abfälle
NaOH	Natronlauge
NE-Metalle	Nichteisenmetalle
NTA	Nitrilotriessigsäure (-acetat)
PA	Nylon
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD	Polychlorierte Dibenzodioxin(e)
PCDF	Polychlorierte Dibenzofuran(e)
PE	Polyethylen
PHB	para-Hydroxybenzoesäure
PMMA	Plexiglas
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PVC	Polyvinylchlorid
PZ	Portlandzement
SG	Stoffgruppe
SUG	Stoffuntergruppe
SWR	Siedewasserreaktor
TBP	Tributylphosphat
TCDD	Tetrachlordibenzodioxin(e)
TCDF	Tetrachlordibenzofuran(e)
TS	Trockensubstanz
VBA	Verlorene Betonabschirmung

VDK	Verdampferkonzentrate
W/Z-Wert	Wasser-Zement-Wert
WHO	World Health Organization

Exemplar für BMBF und BMU

1 Einleitung

Im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben wurden in den Jahren von 1967 bis 1978 ca. 126.000 Gebinde mit schwach- und mittelradioaktiven Abfällen in ehemalige Abbaukammern der Schachanlage Asse eingelagert. Die Einlagerung erfolgte auf der Grundlage der erteilten Umgangsgenehmigungen und unter Beachtung der jeweils gültigen Bedingungen über die Einlagerung von radioaktiven Abfällen in die Schachanlage Asse.

Diese Bedingungen, die in Abstimmung mit den Behörden und Forschungseinrichtungen erarbeitet wurden, enthalten u. a. Vorgaben für die abzuliefernden Abfallarten und deren Konditionierung sowie Verpackung. Die Abfallprodukte selbst mussten in fester Form vorliegen. Nicht angenommen wurden Flüssigkeiten, faul- und gärfähige, leicht- oder selbstentzündliche Stoffe sowie Abfälle, die chemische Reaktionen erwarten ließen. Quantitative Angaben über die stoffliche Zusammensetzung der Abfälle waren nicht erforderlich; aus den Einlagerungsdokumenten können daher nur allgemeine Aussagen entnommen werden.

Die in der Schachanlage Asse eingelagerten Abfallgebände mit radioaktiven Abfällen setzen sich aus einer Vielzahl von organischen und anorganischen Stoffen zusammen. Sie sind Bestandteile des Abfallbehälters, des Fixierungsmittels und des radioaktiven Abfalls und liegen in unterschiedlichster Zusammensetzung vor. Die Massen der Radionuklide wurden bereits durch das Institut für Strahlenschutz der GSF Neuherberg im Zusammenhang mit der Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachanlage Asse ermittelt [1] und sind gegenüber den Massen der inaktiven Materialien vergleichsweise gering. Die Summe der Fixierungsmittel und der Abfallbehälter machen den größten Massenanteil des Abfallinventars aus. Diese Materialien waren zwingend erforderlich, damit bei der Übergabe und der nachfolgenden Einlagerung eine Gefährdung des Personals und der Lagerstätte ausgeschlossen werden konnte.

Im Rahmen der Schließung der Schachanlage Asse ist ein Abschlussbetriebsplan zu erstellen, dem ein umfassender Sicherheitsbericht mit einem Langzeitsicherheitsnachweis beizufügen ist. Um diesen Nachweis zu erbringen, sind Angaben bzw. Aussagen über die stoffliche Zusammensetzung des Abfallinventars erforderlich. Aus diesem Grund wurde eine umfangreiche Nacherhebung der stofflichen Zusammensetzung der Materialien der eingelagerten Abfallgebände durchgeführt.

Um die Auswirkungen des eingelagerten Abfallinventars sowohl auf die Entwicklung des geochemischen Milieus im Grubengebäude als auch auf eine eventuelle schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder zu einer sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften durch bestimmte gefährliche Stoffe untersuchen zu können, muss die stoffliche Zusammensetzung der Materialien der Abfallgebände bekannt sein. Während bei den geochemischen Milieubetrachtungen i. d. Regel Angaben über die Mengen der Materialien, wie z. B. Zement, Zellulose und Metalle ausreichen, ist bei einer wasserrechtlichen Prüfung eine weitere Differenzierung der Materialien in einzelne chemische Komponenten (auch Verbindungen) und Elemente erforderlich.

2 Vorgehensweise

Zur Ermittlung der chemischen Komponenten (auch Verbindungen) und Elemente wurden alle vorliegenden Informationen über die eingelagerten Abfälle in einer ACCESS-Datenbank [2] erfasst. Diese Datenbank enthält neben Angaben über die Anzahl der eingelagerten Abfallgebinde, Aktivitätsangaben, etc. auch weitere Beschreibungen, z. B. zur Art der verwendeten Behälter (Abfallbehälter), Art des radioaktiven Abfalls und ihrer Behandlung (Fixierungsmittel), die den Einlagerungsdokumenten und dem Schriftverkehr entnommen werden konnten.

Auf dieser Basis wurden von der Fa. Stoller Ingenieurtechnik, Dresden, die Materialien der eingelagerten Abfallgebinde ermittelt [3]. Dazu wurde der Datenbestand der ACCESS-Datenbank umfangreichen Plausibilitäts- und Vollständigkeitsprüfungen unterzogen. Nach der Durchführung von Recherchen bei den Abfallablieferern sowie Literaturrecherchen wurden die Materialmengen (Volumen- und Massenangaben) ermittelt. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind die Grundlage für weiterführende Rechnungen, beispielsweise für geochemische Modellrechnungen und die Ermittlung des Gasquellterms der Materialien der Abfallgebinde.

Um die Auswirkungen des eingelagerten Abfallinventars auch auf eine eventuelle schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder zu einer sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften durch bestimmte gefährliche Stoffe untersuchen zu können, war eine weitere Differenzierung der o. g. Materialmengen bis hin zu den einzelnen chemischen Komponenten und Elementen erforderlich.

Der Datenbestand der Datenbank mit den Ergebnissen von [3] wurde dazu vom Forschungsbergwerk Asse für die Fa. Buchheim aufbereitet. Bei der intensiven Kontrolle der v. g. Ergebnisse wurden einige wenige Zuordnungsfehler festgestellt und korrigiert. Der korrigierte Datenbestand wurde ins EXCEL-Format überführt und vom Forschungsbergwerk Asse an die Fa. Buchheim übergeben. Diese Daten wurden von der Fa. Buchheim einer umfangreichen Plausibilitätsprüfung unterzogen. Dazu zählen u. a. die Wasser-/Zementverhältnisse aller zementhaltigen Materialien und die Wasseranteile der zellulosehaltigen Materialien (Sorptionsgleichgewichte/-isothermen). Die pauschal abgeschätzten Bleimassen wurden anhand von vorhandenen Zeichnungen bzw. nach Maßgabe der notwendigen Abschirmung der Strahlenquellen überprüft. Es wurden die chemischen Prozesse innerhalb der Abfallgebinde berücksichtigt, die zum Zeitpunkt der Einlagerung abgelaufen sind. Dazu zählt z. B. die thermische Zersetzung von EDTA aufgrund von Temperatur und Verweilzeiten im Verdampfer. Vertiefende Recherchen der Fa. Buchheim ermöglichten dann die Differenzierung der Materialien in einzelne chemische Komponenten und Elemente. Die so ermittelten Massenangaben der einzelnen Stoffe wurden um die Angabe der chemischen Form erweitert (Anorganika/Organika: Salz, Oxid, Legierung, metallisch, mineralisch, etc.). Das Wasser des Abfallinventars wurde in seinen unterschiedlichen Erscheinungsformen berücksichtigt: gebundenes und adsorbiertes Wasser, Poren-, Hydrat- und Kristallwasser.

Die Abbildung 2.1 gibt einen Überblick über die umfangreichen Arbeitsschritte, die zur Ermittlung der Materialien, Komponenten und Elemente führten.

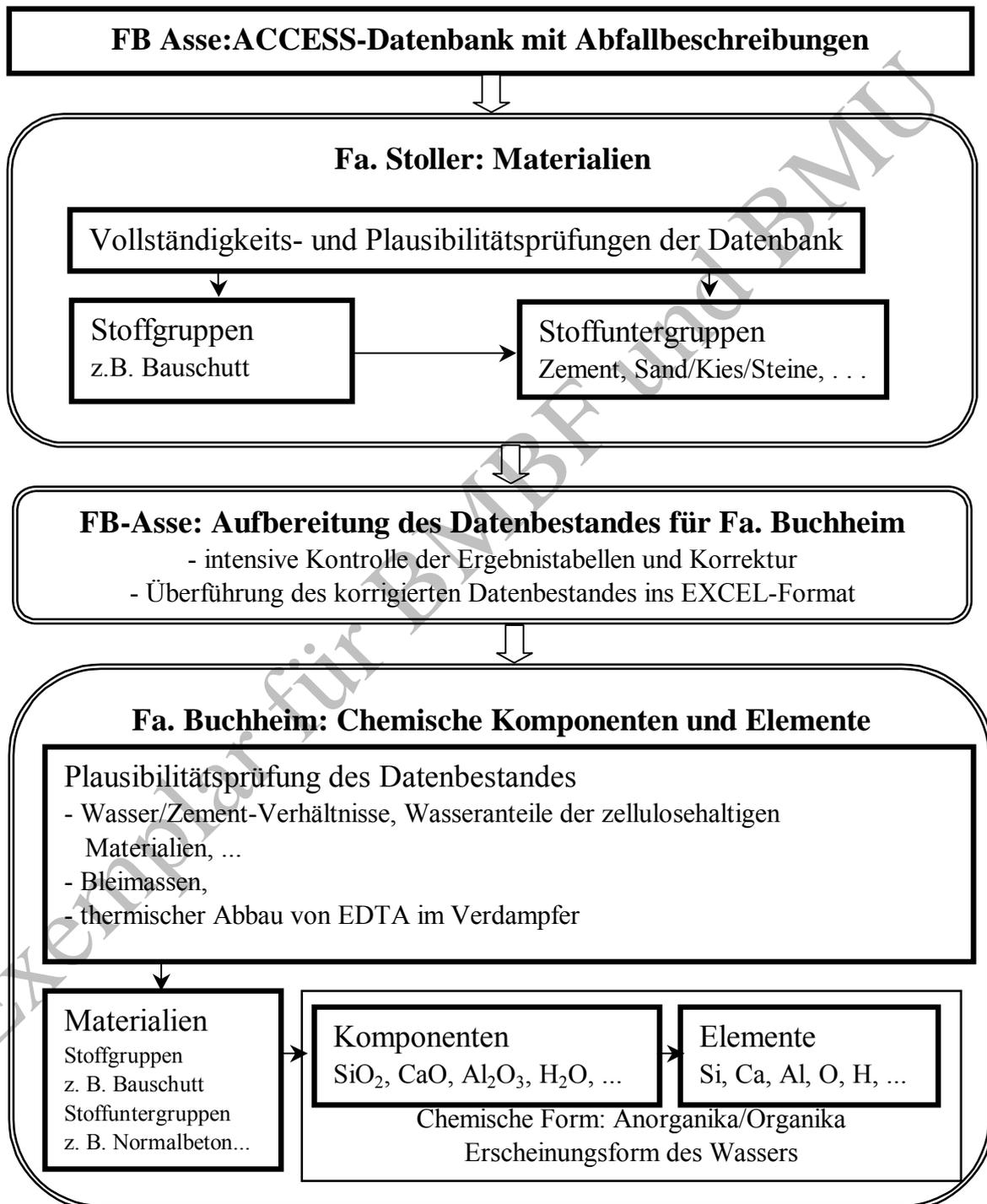


Abb. 2-1: Überblick der Arbeiten, die der Ermittlung der Materialien, Komponenten und Elemente zu Grunde liegen

In diesem Abschlussbericht sind die Berichte der Fa. Stoller [3] und der Fa. Buchheim [4] zusammengefasst und die wesentlichen Ergebnisse zusammengestellt. In Kapitel 4 werden die Grundlagen für die Vorgehensweise der Abschätzung der Materialien der Abfallgebinde durch die Fa. Stoller beschrieben. Darauf aufbauend wird in den Kapiteln 5 und 6 die Ermittlung der chemischen Komponenten und Elemente durch die Fa. Buchheim vorgestellt.

Es sind in Übereinstimmung mit dem Norm-Entwurf DIN 25401 Teil 9 (Stand Februar 1986) und der Empfehlung des Ausschusses Endlagerung der Reaktor-Sicherheits-Kommission (RSK) vom 13. Juli 1984 dieselben Begriffsdefinitionen bei der Ermittlung des Inventars der Schachanlage Asse verwendet worden, wie auch vom Bundesamt für Strahlenschutz u. a. für die Schachanlage KONRAD und das Endlager Morsleben (ERAM) angewendet.

Darüber hinaus ist bei der Bezeichnung der zementhaltigen Materialien (PZ-Stein, PZ-Ölschieferstein, PZ-Mörtel, Normalbeton, Hämatitbeton) die in der Bundesrepublik Deutschland maßgebende Zementnorm DIN 1164 (1978) zu Grunde gelegt worden. Das Gleiche gilt für die Bezeichnungen und verwendeten Kurzzeichen wichtiger Kunststoffe gemäß DIN 7728 Teil 1 (Jan. 1988).

Exemplar für BMBF und BMU

3 Herkunft und Rahmenbedingungen der eingelagerten Abfälle

Bei den in der Schachanlage Asse eingelagerten schwach- und mittelradioaktiven Abfällen handelt es sich um radioaktive Abfälle aus den folgenden Verursacher-/Ablieferergruppen:

- Forschungs-/Entwicklungseinrichtungen, z. B. Forschungszentrum Karlsruhe und Jülich
- Betrieb der Kernkraftwerke (Druck- und Siedewasserreaktoren – DWR und SWR)
- kerntechnische Industrie, z. B. NUKEM, Transnuklear
- sonstige Ablieferer, z. B. Bundeswehr

Zum Abfallinventar tragen maßgeblich die Abfälle des Forschungszentrums Karlsruhe (50 % der Abfallgebände), des Forschungszentrums Jülich (10 %) und der Kernkraftwerke (20 %) bei. Die restlichen Abfallgebäude entfallen auf alle übrigen Ablieferer.

Zur Ermittlung der stofflichen Zusammensetzung konnte von einer Reihe bekannter Randbedingungen ausgegangen werden. So wurden die eingelagerten Abfälle überwiegend in Abfallbehältern abgeliefert, die in den jeweiligen Annahmebedingungen beschrieben sind. Von einigen Abfallverursachern/Ablieferern sind lt. Einlagerungsdokumente (Begleitlisten) auch Abfallbehälter verwendet worden, die davon abweichen. Um eine möglichst realistische Abschätzung der anteiligen Massen bzw. Volumina der verschiedenen Abfallbehältermaterialien zu ermöglichen, wurden die damals gültigen Regelwerke herangezogen, zusätzliche Angaben der Abfallverursacher/Ablieferer berücksichtigt und fehlende Angaben durch Vergleich mit heutigen Regelwerken und mit plausiblen Annahmen ergänzt.

Eingelagert wurden vor allem Misch- und Laborabfälle, getrocknete oder verfestigte Verdampferkonzentrate, Schrott/Metall, Bauschutt und zellulosehaltige Materialien.

Die Abfälle wurden bei ihrer Verpackung in die Abfallbehälter teilweise paketiert/verpresst, getrocknet oder durch Zugabe von Fixierungsmitteln (in erster Linie Zementstein, Zementmörtel) verfestigt bzw. stabilisiert.

4 Grundlagen für die Abschätzung des Abfallinventars

Basis der Abschätzung der Materialien der in die Schachanlage Asse eingelagerten Abfallgebände war eine ACCESS-Datenbank mit Daten über die eingelagerten radioaktiven Abfälle [2]. Diese Daten wurden von der Fa. Stoller geprüft, vervollständigt und durch umfangreiche Recherchen bei den Ablieferern sowie Literaturrecherchen nachbereitet.

Bei der Abschätzung wurde mit den Materialien der Abfallbehälter begonnen. Es wurden früher gültige Regelwerke (z. B. DIN-Normen) herangezogen. Damit waren die Materialdaten der in die Schachanlage Asse eingelagerten Behältertypen bekannt.

Im Anschluss daran wurden die Materialmengen der Abfälle und der Fixierungsmittel abgeschätzt. Massenangaben zu den Abfallgebänden standen hierzu nicht zur Verfügung. Bei der Ablieferung der Abfallgebände nach den damals gültigen Annahmebedingungen war ihre Angabe nicht erforderlich. Aus diesem Grunde wurden aus den früher gültigen Regelwerken die Angaben zum Leervolumen je Behältertyp herangezogen. Den Abfällen und Fixierungsmitteln wurden dann Volumenteile am Gebindeleervolumen zugewiesen (Abb. 4-1). Dies erfolgte in Abhängigkeit der Art der Abfallmaterialien und deren Konditionierung.

Die stofflichen Zusammensetzungen der Materialien (Stoffgruppen) wurden auf Grundlage von Literaturangaben und Auskünften der Ablieferer in Form von Stoffvektoren von der Fa. Stoller beschrieben. Durch Verknüpfung der Anteile am Gebindeleervolumen mit den entsprechenden Stoffvektoren erfolgte die Ermittlung der Materialmengen.

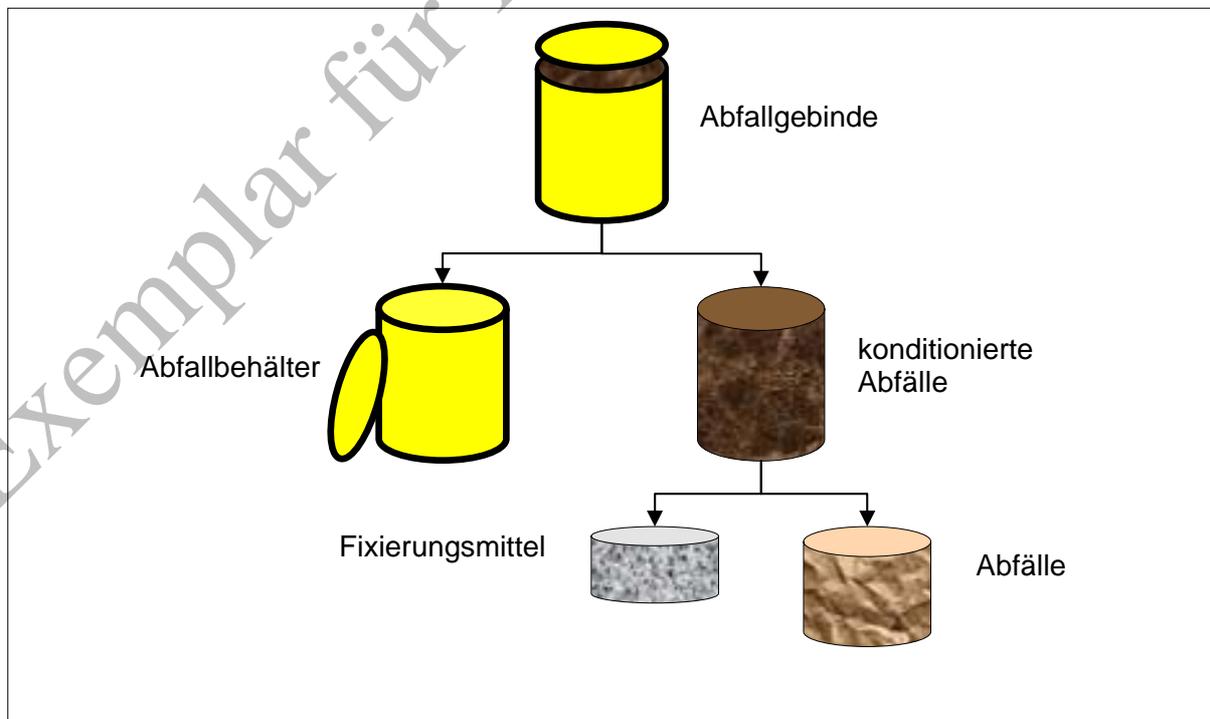


Abb. 4-1: Vorgehensweise bei Abschätzung der Materialien der Abfallgebände

Für die Abschätzungen der Materialmengen erfolgte eine Einteilung der Materialien aus Abfall, Abfallbehälter und Fixierungsmittel in zusammenfassende Kategorien bis hin zu einzelnen Materialien. Dazu wurden die in den Einlagerungsdokumenten angegebenen Abfallnennungen Stoffgruppen und Stoffuntergruppen zugeordnet. Eine weitere Aufteilung auf einzelne chemische und chemotoxische Stoffe erfolgte durch Festlegung von Stoffvektoren der entsprechenden Stoffuntergruppen in Kapitel 6. Am Beispiel der Abfälle wird das Prinzip der Kategorisierung und Zuordnung zu Stoffgruppen und Stoffuntergruppen verdeutlicht.

Zu den Abfällen gehören die Abfallkategorien: „verfestigte Abfälle“, „feste Abfälle gemischter Zusammensetzung“, „sortierte feste Abfälle“ und „Verbrennungsrückstände“. Gemische der v. g. Abfallkategorien werden als „Mischkategorien“ bezeichnet. Die Kategorie „feste Abfälle gemischter Zusammensetzung“ umfasst u. a. die Stoffgruppen Misch- und Laborabfälle, zu denen die Stoffuntergruppen Zellulose, Kunststoffe, FE-Metalle, NE-Metalle etc. gehören.

In den Kapiteln 4.1 bis 4.3 werden die verwendeten Abfallbehälter, die durchgeführten Konditionierungen mit unterschiedlichen Fixierungsmitteln und die radioaktiven Abfälle selbst näher beschrieben.

4.1 Abfallbehälter der radioaktiven Abfälle

Um Aussagen über die stoffliche Zusammensetzung der in die Schachanlage Asse eingelagerten Abfallbehälter treffen zu können, wurden die verwendeten Behältertypen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung beschrieben [3]. Grundlage dieser Abschätzung waren die jeweils gültigen Annahmebedingungen für die in die Schachanlage Asse eingelagerten schwach- und mittelradioaktiven Abfälle [5, 6, 7] sowie die damals gültigen Regelwerke.

4.1.1 Abfallbehälter der schwachradioaktiven Abfälle

Abfallgebände mit schwachradioaktiven Abfällen wurden erstmals im Zeitraum von April 1967 bis Juli 1971 während der ersten Versuchseinlagerungsphasen I bis IV eingelagert. Zwischen November 1971 und Dezember 1975 erfolgte die Ablieferung der Abfallgebände an die Schachanlage Asse nach den Annahmebedingungen vom Juli 1971 [5]. Für die Beschreibung der Abfallbehälter, die während der ersten Versuchseinlagerungsphasen abgeliefert wurden, sind sinngemäß ebenfalls diese Annahmebedingungen herangezogen worden.

Als Standardverpackungen wurden Blechtrommeln und Fässer mit einem Behältervolumen von 200 Litern verwendet, die teilweise mit einer allseitigen inneren Betonauskleidung versehen worden waren, um die mechanische Stabilität des Gebindes, insbesondere während der Handhabung beim Einlagerungsbetrieb, zu erhöhen und die Strahlenschutzgrenzwerte für das Personal einhalten zu können [3].

Die Annahmebedingungen vom Dezember 1975 [6] waren seit Anfang 1976 bis zum Ende der Einlagerung im Dezember 1978 die Grundlage für die Verpackungen der an die Schachanlage Asse eingelagerten Abfallgebände mit schwachradioaktiven Abfällen.

Neben den bereits bis 1975 eingesetzten Abfallbehältern wurden später auch Blechtrommeln und Fässer mit 400 Litern Behältervolumen als Standardverpackungen verwendet, die ebenfalls teilweise mit einer allseitigen inneren Betonauskleidung versehen waren.

Des Weiteren wurden einige Abfälle „Fass-in-Fass“ verpackt. Dabei sind 200-Liter-Trommeln mit Abfall in 400-Liter-Fässer/Trommeln eingestellt und der Raum zwischen Innen- und Außenfass mit Zementleim (Wasser-Zement-Gemisch, das in kurzer Zeit hydraulisch zu Zementstein aushärtet) ausgegossen worden.

Schwachradioaktive Abfälle wurden auch in verlorenen Betonabschirmungen (VBA) aus Normal- oder Hämatitbeton verpackt eingelagert. In eine VBA ist standardmäßig ein 200-Liter-Fass mit Abfall eingestellt und der Raum zwischen Abfallfass und der VBA wurde mit Zementleim ausgegossen. Ein geringer Anteil der eingelagerten VBA enthält auch Abfallfässer mit einem Volumen von 250 und 400 Litern.

Von einigen Abfallverursachern/Ablieferern wurden Abfallbehälter verwendet, die von den in den jeweiligen Annahmebedingungen beschriebenen Standardbehältern abweichen. Hierbei handelt es sich um Blechtrommeln bzw. Fässer, die abweichende Volumina aufweisen oder die teilweise mit Beton-, Blei- und/oder Eisengranulatabschirmungen versehen sind, weiterhin sperrige Gegenstände, sowie andere spezielle Behälter und Abschirmungen.

Die Massen und Volumina der Abfallbehälter wurden mit Hilfe zusätzlicher Angaben der Abfallverursacher/Ablieferer berechnet. Prinzipiell wurde bei Gegenständen, die unverpackt eingelagert wurden, beispielsweise Verdampfer und Wärmetauscher, die Materialien als Abfall (Kapitel 4.3) berücksichtigt.

Bei etwa 75 % der Abfallgebinde beträgt das Volumen 200 Liter. Abfallgebinde mit 400 Litern Volumen und VBA haben jeweils einen Anteil von über 10 % an der Summe der eingelagerten LAW-Gebinde. Bei den restlichen Abfallgebinden handelt es sich um Abfallgebinde mit Behältervolumen zwischen 100 und 300 Litern sowie um einige wenige sperrige bzw. unverpackte Gegenstände.

4.1.2 Abfallbehälter der mittelradioaktiven Abfälle

Die Einlagerung von Abfallgebinden mit MAW-Abfällen erfolgte im Zeitraum von August 1972 bis Januar 1977 ausschließlich in die Kammer 8a/511m. Während der MAW-Einlagerung wurden acht Gebinde mit LAW-Abfällen aufgrund von Funktionsprüfungen an Abschirmbehältern in die Kammer 8a/511m eingelagert. Die Bilanzierung dieser Gebinde erfolgte daher bei der MAW-Kammer.

Für die standardmäßige Verpackung der mittelradioaktiven Abfälle wurden ausschließlich 200-Liter-Fässer nach den Annahmebedingungen vom September 1972 [7] verwendet.

Die mittelradioaktiven Abfälle sind entweder zementiert oder bituminiert worden. Die bituminierten Abfälle wurden „Fass-in-Fass“ verpackt. Dabei sind 175-Liter-Trommeln mit bituminiertem Abfall in die o. g. 200-Liter-Fässer eingestellt worden; der Raum zwischen Trommel und Fass blieb generell unverfüllt. Die zementierten Abfälle wurden direkt in 200-Liter-Fässer verpackt.

Etwa 30 % der Abfallgebinde liegen als „Fass-in-Fass-Verpackung“ vor. Bei 70 % der Abfallgebinde handelt es sich um 200-Liter-Fässer.

4.1.3 Berechnungsgrundlagen für die Materialien der Abfallbehälter

Die für die Berechnung der Materialien der Abfallbehälter notwendigen Daten (Blechdicke, Leergewicht, Durchmesser, Höhe etc.) wurden für die unterschiedlichen Behälterarten aus den jeweiligen Regelwerken entnommen, zusätzliche Angaben der Ablieferer, z. B. zu Betonummantelungen oder zu Abschirmungen berücksichtigt und fehlende Angaben durch Vergleich mit heutigen Regelwerken und plausiblen Annahmen ergänzt.

Die Materialien der Abfallbehälter werden in den folgenden Abschnitten erläutert. Die detaillierten Berechnungsgrundlagen können [3] entnommen werden.

FE-Metall/Stahl

Für die Fässer, Blechtrommeln u. ä. ist im Allgemeinen unlegierter Massenbaustahl eingesetzt worden. Die VBA aus Normal- oder Hämatitbeton enthalten eine Stahlarmierung.

Beton

Beton ist ein Gemisch aus Zement, Wasser und Zuschlagstoffen (Sand/Kies und ggf. Hämatit). Der Betonmantel der VBA besteht aus Normal- oder Hämatitbeton. Bei Blechtrommeln/Fässern mit allseitiger innerer Betonauskleidung kam Normalbeton zum Einsatz.

Zementstein

Zementleim ist ein Gemisch aus Zement und Wasser, z. B. mit dem Verhältnis Masse Wasser/Zement von 0,4, das in kurzer Zeit hydraulisch zu Zementstein aushärtet. Mit Zementleim wurden Zwischenräume bei „Fass-in-Fass“-Verpackungen (zwischen Außen- und Innenfass) und VBA (zwischen Betonmantel und Innenfass) verfüllt.

Fassbeschichtungen aus Kunstharz und Zink

Bei Fässern, Blechtrommeln u. ä. Metallverpackungen wurde - bis auf sehr wenige verzinkte Fässer – mindestens außen eine Rostschutzlackierung berücksichtigt. Die Abschätzung der Masse des Kunstharzes (in Form von Beschichtung und EPDM-Dichtung) erfolgte pauschal auf der Grundlage der bekannten Behältermassen.

Von den eingelagerten 200-Liter-Fässern sind nach Angaben einiger Ablieferer maximal 10 % verzinkte Fässer gewesen. Dies betrifft 200-Liter-Rollsicken- und Rollreifenfässer, die auch von anderen Ablieferern verwendet wurden. Die Abschätzung der Zinkmasse erfolgte pauschal über das Gewicht aller in Frage kommenden 200-Liter-Fässer.

Materialien nicht standardgemäßer Abfallbehälter

Die Materialien der Abfallbehälter (Stahl; Zementstein/Beton), die von den in den jeweiligen Annahmebedingungen beschriebenen Verpackungen abwichen, sowie Abschirmmaterialien, beispielsweise Blei, wurden mit Hilfe zusätzlicher Angaben der Abfallverursacher/Ablieferer ermittelt und in die Datenbank aufgenommen.

4.2 Fixierungsmittel der radioaktiven Abfälle

In 46 % der Abfallgebinde sind die Abfälle ohne Zugabe von Fixierungsmitteln in die Abfallbehälter verpackt worden. Feste Abfälle wurden teilweise in die Abfallbehälter eingepresst (meist manuell) oder als paketieter Abfall in die Abfallbehälter eingebracht; verfestigte Abfälle härteten aus oder wurden getrocknet.

Die Abfälle der übrigen Abfallgebinde (54 %) wurden durch Zugabe von Fixierungsmitteln verfestigt bzw. stabilisiert oder mit Adsorptionsmitteln, die im Folgenden ebenfalls als Fixierungsmittel betrachtet werden, versetzt.

Abbildung 4-2 gibt einen Überblick über die verwendeten Fixierungsmittel, die im Folgenden näher erläutert werden. Die Volumenanteile der Fixierungsmittel am Gebindeleervolumen sind von der Art der Abfälle und deren Konditionierung (Paketierung/Verpressung, Trocknung) abhängig. Die verwendeten Fixierungsmittel wurden auf Grundlage von Literaturangaben und Auskünften von Ablieferern in Stoffgruppen und weiter in Stoffuntergruppen unterteilt. Die detaillierten Angaben zu den Volumenanteilen und den Berechnungsgrundlagen können [3] entnommen werden.

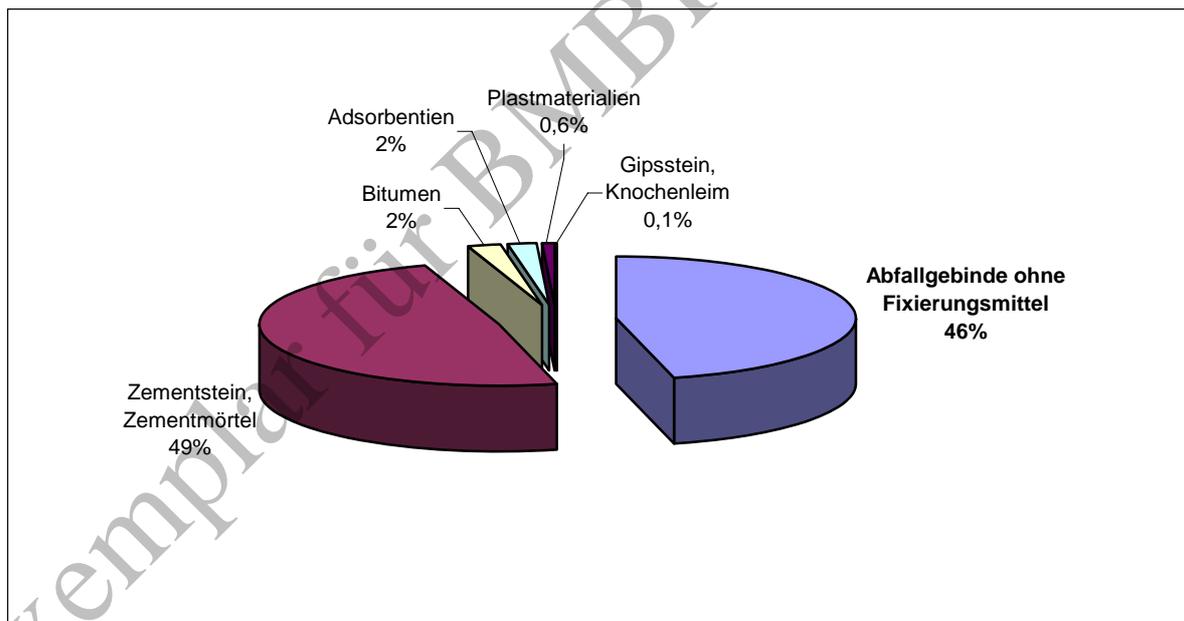


Abb. 4-2: Prozentuale Verteilung der Fixierungsmittel, bezogen auf die Anzahl der eingelagerten Abfallgebinde

Aus den Einlagerungsdokumenten konnten folgende Materialnennungen als Fixierungsmittel entnommen werden:

- Beton, Zementleim (im folgenden Zementmörtel, Zementstein)
- Bitumen
- Polystyrol, PVC
- Gipsleim (im folgenden Gipsstein), Knochenleim
- Aktivkohle, Torf

- Vermiculit
- Diatomit und Warisorb (im folgenden Kieselgur)

Einige wenige Abfallgebände enthalten Abfälle, die durch die Zugabe mehrerer Fixierungsmittel konditioniert wurden, beispielsweise Bitumen und Zementmörtel bzw. Zementstein. Von der Fa. Stoller ist geprüft und entsprechend berücksichtigt worden, ob und welche der angegebenen Materialien zur Konditionierung der Abfälle verwendet bzw. welches Material zur Verfüllung der Fasszwischenräume oder zum zusätzlichen Verguss konditionierter Abfälle verwendet wurde.

Zementmörtel und Zementstein

Insgesamt wurden die Abfälle in 49 % aller in die Schachanlage Asse eingelagerten Abfallgebände mit Zementstein bzw. Zementmörtel konditioniert. Konzentrate, Schlämme und Harze sind durch Zementierung verfestigt worden. Metalle, Bauschutt und Mischabfälle wurden durch Zementierung fixiert.

Bei dem von den Ablieferern im Zusammenhang der Konditionierung genannten Begriff „Beton“ handelt es sich um Zementmörtel (Zuschlagstoff: Sand). Die Anteile von Sand wie auch von anderen teilweise zugesetzten Zuschlagstoffen oder Adsorptionsmitteln (z. B. Vermiculit) wurden nach Angaben der Abfallerzeuger bzw. Konditionierer und nach Literaturangaben berücksichtigt. Für die Zementierung ist im Allgemeinen auf der Basis der Massen ein Wasser-/Zementverhältnis von 0,4 angewendet worden.

Bitumen

Für die Abfälle in 2 % der an die Schachanlage Asse eingelagerten Abfallgebände ist als Fixierungsmittel Bitumen angegeben worden, davon teilweise in Kombination mit Zementierung. Für diesen Teil ist davon auszugehen, dass die Oberfläche bzw. das Restvolumen der Abfallgebände mit bituminierten Abfällen mit Zementleim vergossen wurden.

Die Abfallgebände enthalten überwiegend verfestigte Abfälle wie Verdampferkonzentrate. Nur einige wenige Abfallgebände enthalten feste Abfälle wie Misch- und Laborabfälle und Schrott/Metall.

Plastmaterialien (Polystyrol und PVC)

Ionenaustauscherharze wurden mit Polystyrol verfestigt. Bei der Verfestigung von Tributylphosphat/Kerosin wurde generell PVC berücksichtigt, da das auf den Einlagerungsdokumenten angegebene Trosiplast als Plastmaterial auf PVC-Basis anzusehen ist.

Abfälle in etwa 0,6 % der insgesamt eingelagerten Abfallgebände wurden mit Polystyrol oder PVC teilweise in Kombination mit Zementierung konditioniert.

Gipsstein und Knochenleim

Ein geringer Teil der Metabornabfälle wurde nach der Trocknung mit Knochenleim behandelt. Bei der Umwandlung von Borsäure in Metaborat durch Zusatz von NaOH zur

Herstellung eines festen Abfallkörpers ist kein als Fixierungsmittel einzustufendes Material eingesetzt worden. NaOH wurde daher als Abfall (Kapitel 4.3) berücksichtigt. Nur der Knochenleim ist als Fixierungsmittel bilanziert worden.

Bei einigen wenigen Abfallgebinden mit Schlämmen und Laborabfällen wurde eine Konditionierung mit Gips bzw. Gipsleim, der zu Gipsstein aushärtet, vorgenommen.

Abfälle in etwa 0,1 % der insgesamt eingelagerten Abfallgebinde wurden mit Knochenleim oder Gipsstein konditioniert.

Adsorptionsmittel: Aktivkohle, Torf, Vermiculit, Kieselgur

Für radiumhaltige Abfälle wurden die zugegebenen Aktivkohlemengen seit dem Beginn der Einlagerung nach [5] unter Berücksichtigung der vom Ablieferer angegebenen Behandlung der Abfälle sowie der in [2] abgeschätzten Radiumaktivität in den Abfällen berücksichtigt. Diese Art der Konditionierung wurde in [6] auf thoriumhaltige Abfälle ausgedehnt. Wenn sich aus den Annahmebedingungen die Zugabe von Adsorptionsmitteln ergab, ist für die Abfälle der entsprechenden Abfallgebinde eine Befüllung mit Adsorptionsmitteln angenommen worden. Dabei wurden die in den Annahmebedingungen festgelegten Mindestmengen für Aktivkohle berücksichtigt. Die übrigen Adsorptionsmittel bestehen im Allgemeinen aus Torf oder in Einzelfällen aus Vermiculit.

Neben den Abfallgebinden mit radium- oder thoriumhaltigen Abfällen ist bei weiteren Abfallgebinden die Zugabe von Adsorptionsmitteln (Aktivkohle, Torf, Vermiculit oder Kieselgur) auf den zugehörigen Einlagerungsdokumenten vermerkt und dementsprechend berücksichtigt worden.

Torf, Vermiculit und Kieselgur wurden entweder in Verbindung mit Aktivkohle oder mit Zementierung verwendet. Kieselgur wurde darüber hinaus als Adsorptionsmittel für Öl eingesetzt. Für weitere Ölbindemittel wurde ebenfalls Kieselgur als Basismaterial berücksichtigt.

Insgesamt wurden 2 % der Abfälle der insgesamt eingelagerten Abfallgebinde mit Adsorptionsmitteln versetzt.

4.3 Radioaktive Abfälle

Während der Versuchseinlagerungsphasen I bis IV, der Einlagerungen nach LAW-Annahmebedingungen und MAW-Annahmebedingungen, wurden Abfallgebinde mit Abfällen aus Kernkraftwerken, aus Forschungseinrichtungen, aus industriellen Bereichen und von sonstigen Ablieferern (z. B. Bundeswehr) eingelagert.

Die Abfallgebinde enthalten vor allem Misch- und Laborabfälle, verfestigte oder getrocknete Verdampferkonzentrate, Schrott/Metall, Bauschutt und zellulosehaltiges Material.

Anhand der in den Einlagerungsdokumenten (Fragebögen, Begleitlisten) angegebenen Abfallnennungen erfolgte eine Einteilung der einzelnen Abfallchargen in Abfallkategorien und weiter in Stoffgruppen. Eine Abfallcharge umfasst alle Gebinde, die in einer Lieferung an die Schachanlage Asse abgeliefert wurden und die gleichen Merkmale (Abfallart,

Aktivität, Dosisleistung, Verpackungsart, Einlagerungskammer) hatten. Für Abfallchargen, die aufgrund ihrer Abfallnennungen keiner einzelnen Stoffgruppe zugeordnet werden konnten, wurden kombinierte Stoffgruppen verwendet. Da die einzelnen bzw. kombinierten Stoffgruppen sehr unterschiedliche Zusammensetzungen (Anteile an Stoffuntergruppen) aufweisen konnten, wurde die Zuordnung von Stoffuntergruppen und deren Anteile über die angegebenen Abfallnennungen vorgenommen [3].

Die Abfallgebilde enthalten feste und verfestigte Abfälle sowie Verbrennungsrückstände. Die festen Abfälle teilen sich in die Kategorien „feste Abfälle gemischter Zusammensetzung“, dazu gehören u. a. Misch- und Laborabfälle, Bauschutt, Filter/Filterelemente, sowie „sortierte feste Abfälle“ (z. B. Schrott/Metalle, zellulosehaltiges Material). Zu den „verfestigten Abfällen“ gehören Verdampferkonzentrate, Schlämme, Filterhilfsmittel und -rückstände, Fällschlämme und Harze sowie Öle und Lösemittel.

Den größten Anteil haben Abfallgebilde mit festen Abfällen gemischter Zusammensetzung (53 %), Abfallgebilde mit sortierten festen Abfällen (19 %) und verfestigte Abfälle (26 %). Gemische mit festen bzw. verfestigten Abfällen und/oder Verbrennungsrückständen werden als Mischkategorien bezeichnet (2 %). Abbildung 4-3 gibt einen Überblick über die prozentuale Verteilung der Abfälle auf die verschiedenen Abfallkategorien.

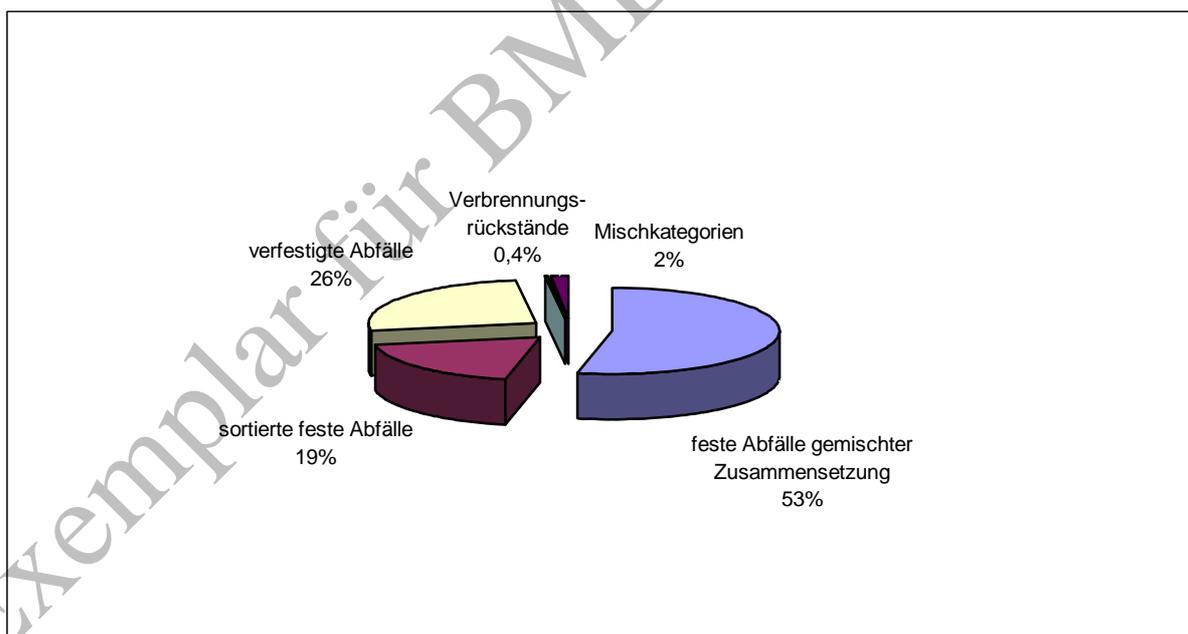


Abb. 4-3: Prozentuale Verteilung der Abfälle auf die verschiedenen Abfallkategorien, bezogen auf die Anzahl der eingelagerten Abfallgebilde

Im Folgenden werden die Abfallmaterialien (Stoffgruppen) der eingelagerten Abfälle kurz beschrieben. Die Volumenanteile der Abfallmaterialien sind in Abhängigkeit der Konditionierung sehr unterschiedlich und können [3] entnommen werden.

4.3.1 Verfestigte Abfälle

Zu der Kategorie der verfestigten Abfälle (26 % der eingelagerten Abfallgebilde) gehören Verdampferkonzentrate, Schlämme, Filterhilfsmittel und –rückstände, Fällschlämme und Harze sowie Öle und Lösemittel. Sie wurden mit Fixierungsmitteln oder durch Trocknung konditioniert.

Abbildung 4-4 gibt einen Überblick über die prozentuale Verteilung der Abfallarten (Stoffgruppen) in den Abfallgebilden mit verfestigten Abfällen. Die unterschiedliche Herkunft und Konditionierung hatten insbesondere auf die Zusammensetzung dieser Abfälle entscheidenden Einfluss.

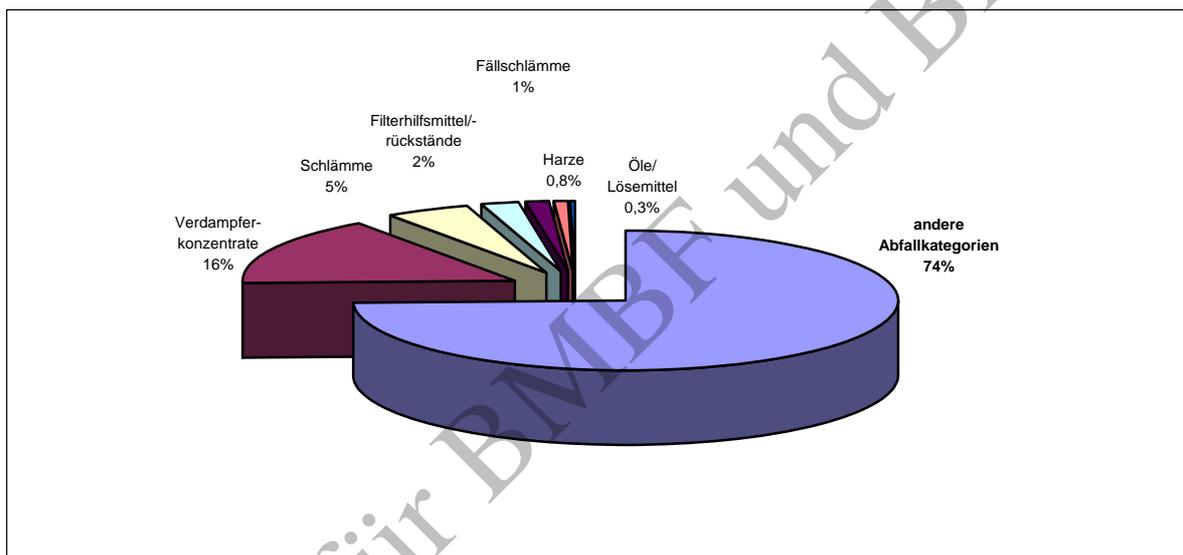


Abb. 4-4: Prozentuale Verteilung der Abfallarten (Stoffgruppen) in den Abfallgebilden mit verfestigten Abfällen, bezogen auf die Anzahl der eingelagerten Abfallgebilde

Verdampferkonzentrate

Verdampferkonzentrate fielen beim Betrieb von Siedewasserreaktoren (VDK SWR - sulfathaltig) und beim Betrieb von Druckwasserreaktoren (VDK DWR - borsäurehaltig) an. Die Borsäurekonzentrate wurden zum großen Teil durch Zusatz von NaOH behandelt, wobei Borsäure in Metaborate umgesetzt und nach Trocknung ein kristallartiger Feststoff entsteht. Für VDK SWR, die hauptsächlich aus Salzen und Zellulose bestehen, kam meist die Zementierung (Zementstein/Zementmörtel) zur Anwendung. Bei den Konzentraten der Herkunft GFK/KFK handelt es sich zum größten Teil um LAW/MAW-Konzentrate aus der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (Salze und Chelate/Komplexbildner). Bei Verdampferkonzentraten von sonstigen Ablieferern, wässrigen Lösungen sowie Dekontaminationswässern handelt es sich meist um Abwässer aus Wasch- und Dekontaminationseinrichtungen mit niedrigen Feststoff- und unterschiedlichen organischen Anteilen (Salze und Zellulose).

Etwa 16 % der eingelagerten Abfallgebände enthalten Verdampferkonzentrate.

Schlämme

Etwa 5 % der eingelagerten Abfallgebände enthalten Abwasserschlämme, Dekontaminationsschlämme etc., die mit einem sehr breiten Spektrum hinsichtlich der Zusammensetzung anfielen. Sie wurden mit einer mittleren Zusammensetzung (hauptsächlich Salze, Kieselgur und Zellulose) berücksichtigt.

Filterhilfsmittel und Filtrerrückstände

Etwa 2 % der eingelagerten Abfallgebände enthalten Filterhilfsmittel und Filtrerrückstände, die hauptsächlich aus Kernkraftwerken stammen. Sie enthalten hauptsächlich Harze, Kieselgur und Salze. Eine abliefererspezifische Unterscheidung war wegen ähnlicher Herkunft dieser Abfälle nicht erforderlich.

Fällschlämme

Fällschlämme, die in etwa 1 % der eingelagerten Abfallgebände vorliegen, stammen aus der Abwasseraufbereitung (Eisen-Hydroxid-Phosphat- und Nickel-Ferro-Cyanid-Fällung). Sie enthalten hauptsächlich Zellulose (Filterhilfsmittel) und Salze.

Harze

Ionenaustauscherharze befinden sich in 0,8 % der eingelagerten Abfallgebände. Sie kamen als Kugel- oder Pulverharze zum Einsatz (Kugelharze meist in DWR, Pulverharze in SWR).

Öle und Lösemittel

Anhand der in den Einlagerungsdokumenten angegebenen Abfallnennungen befinden sich in etwa 0,3 % der eingelagerten Abfallgebände Öle und Lösemittel (z. B. TBP/Kerosin, BTEX/Lösemittel, Trichlorethan). Diese wurden mit Adsorptionsmitteln (Ölbindemitteln) verfestigt und nachfolgend z. T. zementiert. Für TBP/Kerosin erfolgte eine Verfestigung mit PVC-Pulver oder -Granulat. Einige Öl-Lösemittel-Wasser-Gemische wurden mit Gips konditioniert.

4.3.2 Feste Abfälle

Die festen Abfälle teilen sich in die Kategorien „feste Abfälle gemischter Zusammensetzung“, dazu gehören u. a. Misch- und Laborabfälle, Bauschutt, Filter/Filterelemente sowie „sortierte feste Abfälle“ (z. B. Schrott/Metall, zellulosehaltiges Material).

Abbildung 4-5 zeigt die prozentuale Verteilung der Abfallgebände mit festen Abfällen auf die jeweiligen Stoffgruppen.

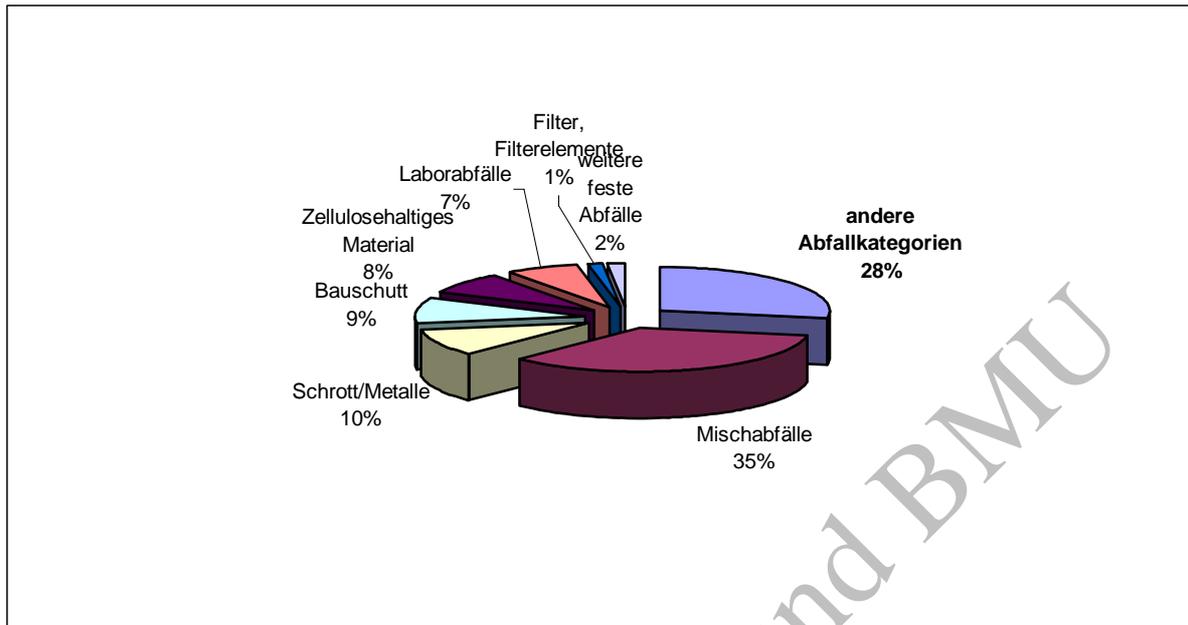


Abb. 4-5: Prozentuale Verteilung der Abfallarten (Stoffgruppen) in den Abfallgebinden mit festen Abfällen, bezogen auf die eingelagerten Abfallgebinde

4.3.2.1 Feste Abfälle gemischter Zusammensetzung

Als feste Abfälle gemischter Zusammensetzung (Misch- und Laborabfälle, Bauschutt, Filter/Filterelemente etc.) werden alle Abfälle betrachtet, die unterschiedliche Abfallarten wie Metalle, silikatische Materialien, zellulosehaltige Materialien, Kunststoffe etc. enthalten können. 53 % der eingelagerten Abfallgebinde enthalten solche Abfälle. Bei nicht konditionierten festen Abfällen, die als paketierte/verpresste Abfälle benannt sind, wurde eine Volumenreduktion um den Faktor 2 zu Grunde gelegt.

Die nachfolgenden Abschnitte enthalten allgemeine Erläuterungen der einzelnen Abfallarten (Stoffgruppen).

Misch- und Laborabfälle

Diese Abfälle, die im Wesentlichen aus Zellulose, Papier, Kunststoffe, FE- und NE-Metalle etc. bestehen, wurden entweder unkonditioniert und teilweise paketiert/verpresst, mit Fixierungsmitteln vergossen oder auch unter Zusatz von Adsorptionsmitteln verpackt. In etwa 35 % der eingelagerten Abfallgebinde befinden sich Mischabfälle; etwa 7 % aller Abfallgebinde beinhalten Laborabfälle.

Für die Zusammensetzung dieser Abfälle wurden die in den Einlagerungsdokumenten genannten Abfallnennungen berücksichtigt; sofern keine Spezifizierung vorlag, wurden Stoffvektoren eingesetzt, die nach Erzeugergruppen spezifiziert sind.

Bauschutt

Etwa 9 % der eingelagerten Abfallgebände enthalten Bauschutt, der sich im Wesentlichen aus zementhaltigen Materialien (Normalbeton), FE-Metallen, Mineralwolle, Sand/Kies/Steine, Geräteglas und Erde zusammensetzt. Die Abfälle wurden entweder unkonditioniert in die Abfallbehälter verpackt oder mit Fixierungsmitteln vergossen.

Filter, Filterelemente

Luftfilter und andere Filterelemente, die in etwa 1 % aller Abfallgebände vorliegen, können unterschiedliche Zusammensetzungen aufweisen. Es sind u.a. Zellulose, Polyethylen, Stahl und Aluminium berücksichtigt worden.

U-/Th-haltige Rückstände

Zur Stoffgruppe U-/Th-haltige Rückstände, die in etwa 1 % aller Abfallgebände enthalten sind, gehören u. a. Kieselgur, Asbest, FE-Metalle, Grafit, Asche und Geräteglas. Das in diesen Abfällen enthaltene Uran und Thorium wurde bereits durch das Institut für Strahlenschutz der GSF Neuherberg im Zusammenhang mit der Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachanlage Asse ermittelt [1], weshalb die von den Ablieferern deklarierten Uran- und Thoriumaktivitäten bzw. -massen in dem hier vorliegenden Bericht keine Berücksichtigung fanden.

Filterkerzen

Zu eingelagerten Filterkerzen (0,05 % aller Abfallgebände) liegen ebenfalls nur pauschale Angaben zur Zusammensetzung vor. Meist sind keramische Filterkerzen zum Einsatz gekommen, die außerdem Zellulose, Polyethylen, Stahl und Aluminium enthalten können.

Konservierte Tierkörper

Einige wenige Gebände mit zementierten Tierkörpern (0,01 % aller Abfallgebände) wurden eingelagert. Vor dieser Konditionierung wurden die Kadaver mit Formalin behandelt, welches ebenfalls berücksichtigt worden ist.

4.3.2.2 Sortierte feste Abfälle

Sortierte feste Abfälle (Schrott/Metall, zellulosehaltiges Material etc.) enthalten lt. Angabe auf den Einlagerungsdokumenten nur Metalle oder zellulosehaltige Stoffe oder Kunststoffe usw. Dies betrifft 19 % aller eingelagerten Abfallgebände. Bei nicht konditionierten Abfällen, die als paketierte/verpresste Abfälle benannt sind, wurde eine Volumenreduktion um den Faktor 2 zu Grunde gelegt.

Die nachfolgenden Abschnitte enthalten allgemeine Erläuterungen der Abfallarten (Stoffgruppen), die zu den sortierten festen Abfällen gehören.

Schrott/Metalle

Zu dieser Stoffgruppe werden alle als Schrott, Metalle, Geräteteile u. ä. angegebenen Abfälle gerechnet. Sofern kein näher spezifiziertes Metall ausgewiesen ist, wurde in den weiteren Berechnungen unabhängig von den Ablieferern von einem allgemeinen Verhältnis von FE- zu NE-Metallen ausgegangen. Die Abfälle wurden entweder unkonditioniert in die Abfallbehälter verpackt, paketierte/verpresst oder auch zementiert. Schrott/Metalle befinden sich in etwa 10 % aller Abfallgebände.

Zellulosehaltiges Material

An zellulosehaltigem Material, das in 8 % aller Abfallgebände vorliegt, wurden Zellulose, Papier, Baumwolle (Textilien), Holz und Zellstoff meist unkonditioniert in die Abfallbehälter verpackt oder zementiert.

Kunststoffe, Gummi, Leder

Unter der Stoffgruppe Kunststoffe/Gummi/Leder (etwa 0,4 % aller Abfallgebände) sind PVC, Polyethylen, Polypropylen, Gummi, nicht näher spezifizierte Kunststoffe, Kollagene etc. berücksichtigt worden.

Aktivkohle, Grafit

Diese (hauptsächlich Kohlenstoff-haltigen) Abfälle, deren Anteil etwa 0,16 % aller Abfallgebände beträgt, wurden unkonditioniert in die Abfallbehälter verpackt oder zementiert.

Glas

Geräteglas (0,16 % aller Abfallgebände) wurde entweder unkonditioniert in die Abfallbehälter verpackt oder zementiert.

Strahlenquellen-Behälter

Einige wenige Gebände mit Strahlenquellen-Behältern (0,017 % aller Abfallgebände) enthalten hauptsächlich Co-60-, Cs-137, Ra-226- und Sr-90-Strahlenquellen sowie nicht näher bezeichnete Quellen. Im Allgemeinen sind diese Quellen einschließlich Abschirmbehältern (Stahl, Blei) in die Abfallbehälter verpackt worden. Es sind damit nicht näher spezifizierte FE- und NE-Metalle, Blei und Stahl berücksichtigt worden.

Chemikalien

Zur Stoffgruppe „Chemikalien“ zählen 0,011 % aller Abfallgebände. Sie enthalten Bariumsulfat bzw. arsenhaltige Abfälle. Da die arsenhaltigen Abfälle von einer landwirtschaftlichen Genossenschaft abgeliefert wurden, wird angenommen, dass Reste von arsenhaltigen Pflanzenschutzmitteln eingelagert wurden.

4.3.3 Verbrennungsrückstände

Etwa 0,4 % aller Abfallgebilde enthalten Aschen aus der Verbrennung von Abfällen, die zementiert wurden.

4.3.4 Mischkategorien

In etwa 2 % der Abfallgebilde befinden sich Gemische der festen bzw. verfestigten Abfälle und/oder Verbrennungsrückstände. Hierzu gehören u. a. VDK und Schrott bzw. Mischabfälle, Schlamm und Mischabfall bzw. Schrott, Asche und Schrott.

Allgemein ist eine gleichmäßige Verteilung der Abfallarten (Stoffgruppen) angenommen worden; Abweichungen ergaben sich aus Ablieferer- oder Literaturangaben. Die Anteile von Stoffgruppen und Stoffuntergruppen wurden aufgrund der in den Einlagerungsdokumenten aufgeführten Abfallnennungen berücksichtigt.

4.4 Luft und Wasser in den eingelagerten Abfallgebilden

In [3] werden die getroffenen Annahmen zur Abschätzung von Luft und freiem Wasser (Restfeuchte) in den Abfallgebilden beschrieben. Neben der Restfeuchte befindet sich auch Wasser in gebundener Form in den unterschiedlichen Materialien.

Für die Verpackungsmaterialien wird kein freies Wasser berücksichtigt, weil davon ausgegangen wird, dass die Betonbehälter bei ihrem Einsatz vollständig abgebunden und getrocknet waren. Der Wasseranteil der zementhaltigen Materialien wird als gebundenes Wasser berücksichtigt. Luftanteile ergeben sich aus unverfüllten Hohlräumen von „Fass-in-Fass“-Verpackungen und aus der Porenluft der Betonbehälter, Betonauskleidungen und Zementstein in Behälterzwischenräumen („Fass-in-Fass“-Verpackung und VBA).

Die Fixierungsmittel Zementstein und Zementmörtel liefern Anteile an Luft und freiem Wasser. Darüber hinaus wird das gebundene Wasser der zementhaltigen Materialien berücksichtigt. Für Bitumen, Polystyrol, PVC, Gipsstein und Knochenleim werden keine Anteile an Luft und freiem Wasser berücksichtigt. Der Wasseranteil dieser Materialien wird als gebundenes Wasser berücksichtigt. Für die Adsorptionsmittel Aktivkohle, Torf, Vermiculit usw. werden neben gebundenem Wasser auch Anteile an Luft und freiem Wasser berücksichtigt.

Für die Abfallmaterialien werden je nach Art und Konditionierungsverfahren unterschiedliche Anteile an Luft, freiem und gebundenem Wasser berücksichtigt. Luftanteile ergeben sich aus unverfüllten Hohlraumvolumina von z. B. paketierte/verpressten Abfällen oder Resthohlräumen zementierter Abfälle.

5 Grundlage zur Ermittlung grundwassergefährdender Stoffe sowie weiterer chemotoxischer Stoffe

Das Abfallinventar der Schachtanlage Asse setzt sich aus einer Vielzahl von organischen und anorganischen Stoffen zusammen. Darunter befinden sich auch grundwassergefährdende Stoffe sowie darüber hinaus weitere anorganische und organische chemotoxische Stoffe.

Um den Schutzgedanken aus den einschlägigen Regelwerken zu berücksichtigen, wurden nicht nur die in der Anlage zur Grundwasserverordnung aus dem Jahre 1997 in der Liste I und II genannten Stoffe herangezogen, sondern darüber hinaus auch weitere Stoffe in die Erfassung chemischer und chemotoxischer anorganischer und organischer Stoffe einbezogen, für die in den einschlägigen Verordnungen, Regelwerken und Empfehlungen eine Grenzkonzentration bzw. ein Prüfwert genannt wird.

Welche Stoffe bei der Prüfung des Inventars der Schachtanlage Asse auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen zu berücksichtigen sind, ist aus einschlägigen Verordnungen, Regelwerken und Empfehlungen qualitativ und quantitativ bekannt. Dazu zählen

- die Anlage zur Grundwasserverordnung (1997), Listen I und II [8]
- die Neufassung der Trinkwasserverordnung von 1990 und deren Novellierung 2001 [9, 10]
- die Empfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) [11] einschließlich der im Entwurf vorliegenden aktualisierten Prüfwerte [12] und der Geringfügigkeitsschwellen [13]
- das Regelwerk des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. [14]

Ergänzend werden auch internationale Empfehlungen und Regelwerke [15, 16] herangezogen.

5.1 Grundwassergefährdende Stoffe

Im Hinblick auf den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe wurden diese Stoffe den Listen I und II der Grundwasserverordnung [8] zugeordnet. Im Einzelnen:

Liste I der Stofffamilien und Stoffgruppen

Die Liste I umfasst die einzelnen Stoffe der nachstehend aufgeführten Stofffamilien und -gruppen mit Ausnahme der Stoffe, die aufgrund des geringen Toxizitäts-, Langlebigkeits- oder Bioakkumulationsrisikos als ungeeignet für die Liste I angesehen werden. Stoffe, die im Hinblick auf Toxizität, Langlebigkeit oder Bioakkumulation für die Liste II geeignet sind, sind als Stoffe der Liste II zu behandeln.

1. Organische Halogenverbindungen und Stoffe, die im Wasser derartige Verbindungen bilden können
2. Organische Phosphorverbindungen

3. Organische Zinnverbindungen
4. Stoffe, die im oder durch Wasser krebserregende, mutagene oder teratogene Wirkung haben; dazu gehören auch Stoffe aus der Liste II, soweit sie diese Wirkungen haben
5. Quecksilber und Quecksilberverbindungen
6. Cadmium und Cadmiumverbindungen
7. Mineralöle und Kohlenwasserstoffe
8. Cyanid

Liste II der Stofffamilien und Stoffgruppen

Die Liste II umfasst die einzelnen Stoffe und die Stoffkategorien aus den nachstehend aufgeführten Stofffamilien und Stoffgruppen, die eine schädliche Wirkung auf das Grundwasser haben können.

1. Folgende Metalloide und Metalle und ihre Verbindungen:

1.1 Zink	1.8 Antimon	1.15 Uran
1.2 Kupfer	1.9 Molybdän	1.16 Vanadium
1.3 Nickel	1.10 Titan	1.17 Kobalt
1.4 Chrom	1.11 Zinn	1.18 Thallium
1.5 Blei	1.12 Barium	1.19 Tellur
1.6 Selen	1.13 Beryllium	1.20 Silber
1.7 Arsen	1.14 Bor	
2. Biozide und davon abgeleitete Verbindungen, die nicht in der Liste I enthalten sind
3. Stoffe, die eine für den Geschmack oder den Geruch des Grundwassers abträgliche Wirkung haben, sowie Verbindungen, die im Grundwasser zur Bildung solcher Stoffe führen und es für den menschlichen Gebrauch ungeeignet machen können
4. Giftige oder langlebige organische Siliziumverbindungen und Stoffe, die im Wasser zur Bildung solcher Verbindungen führen können, mit Ausnahme derjenigen, die biologisch unschädlich sind oder sich im Wasser rasch in biologisch unschädliche Stoffe umwandeln
5. Anorganische Phosphorverbindungen und reiner Phosphor
6. Fluoride
7. Ammoniak und Nitrite

5.2 Chemotoxische Stoffe

Neben den in der Liste I und II der Grundwasserverordnung genannten Stofffamilien und Stoffgruppen werden aus den in ANHANG A.1 genannten Unterlagen eine Liste der organisch chemotoxischen Stoffe und der anorganischen chemotoxischen Stoffe erstellt.

5.2.1 Organisch chemotoxische Stoffe

Aufgenommen in die Liste organischer chemotoxischer Stoffe wurden solche Stoffe, welche persistent, kanzerogen, teratogen und/oder mutagen sind und für die aufgrund dieser Eigenschaften in der Vergangenheit bereits einschlägige Vorschriften erlassen worden sind.

Die chemotoxischen organischen Stoffe wurden in die nachstehend genannten neun Verbindungsklassen unterteilt. Eine Auswahl typischer Vertreter der jeweiligen Klasse ist (in Klammern) ergänzt:

1. Alicyclische und aliphatische Verbindungen (Lindan, Aldrin)
2. Halogenierte Benzole und Phenylderivate (Hexachlorbenzol, PCB's)
3. Halogenierte Derivate von Diphenylmethan (DDT)
4. Anellierte Aromaten (Halogenierte Naphthaline, PAK's)
5. Halogenierte Phenole und Phenoxyverbindungen (Trichlorphenol, Diphenylether)
6. Heterocyclische Verbindungen (PCDD, PCDF)
7. Chelatbildner (EDTA, NTA) und Komplexbildner (Citronensäure, Weinsäure, Oxalsäure),
8. Tenside (Alkylsulfonate, Fettalkoholethoxilate, quaternäre Ammoniumverbindungen),
9. Halogenierte Triazine (Atrazin, Simazin).

Die Zuordnung zu den jeweiligen Verbindungsklassen erfolgte aufgrund von Ähnlichkeiten der Stoffe bezüglich Struktur und Eigenschaften. Im ANHANG A.2 sind diese neun Verbindungsklassen, die im Rahmen jeder Klasse betrachteten chemotoxischen organischen Verbindungen und deren typische Klassenvertreter, wiedergegeben.

5.2.2 Anorganisch chemotoxische Stoffe

Neben den chemotoxischen organischen Stoffen gibt es auch anorganische Stoffe und Verbindungen, die chemotoxisch sind und ebenfalls berücksichtigt wurden.

Die Liste der anorganischen chemotoxischen Stoffe (ANHANG A.3) umfasst die im Folgenden aufgeführten Metalle, Nichtmetalle und deren Verbindungen: Antimon, Arsen, Barium, Beryllium, Blei, Bor, Cadmium, Chrom, Cyanide, Kobalt, Kupfer, Molybdän, Nickel, Plutonium, Quecksilber, Selen, Silber, Tellur, Thallium, Titan, Uran, Vanadium, Wismut, Zink und Zinn.

6 Materialien, Komponenten und Elemente im Abfallinventar der Schachtanlage Asse

6.1 Systematik der Erfassung und Datenauswertung

6.1.1 Datenbasis

Für die eingelagerten Gebinde mit radioaktiven Abfällen wurden Massenangaben der Materialien aus [3] vom Forschungsbergwerk Asse im EXCEL-Format kammer-spezifisch nach Stoffgruppen und Stoffuntergruppen aufbereitet und der Fa. Buchheim übergeben (siehe Kapitel 4.5).

Nach einer gründlichen Überprüfung wurden diese Daten von der Fa. Buchheim aufbereitet und in einem weiteren Schritt mit der jeweiligen chemischen Zusammensetzung (Stoffvektoren) der Materialien und Komponenten verknüpft.

Die in den Basisdaten häufig verwendeten Begriffe wie „Asche“, „Aktivkohle“, „FE-Metalle“, „Stahl“, „Kunstharz“, „Harze“, „NE-Metalle“, „Zementstein“, „Beton“, „Schwerbeton“, „Sand“, „Kies“, „Steine“, „Erde“, „Mineralwolle“, „Bauschutt“, „Bitumen“, „Holz“, „Zellstoff“, „Textilien“, „Glas“, „Keramik“, „Kieselgur“, „Kunststoffe“, „Öl“, „Lösungsmittel“, „Gummi“, „Schrott“, „Schlämme“, „VDK“, „PVC“ etc. mussten dazu in die Komponenten und anschließend in die chemischen Elemente aufgeschlüsselt werden.

Das Inventar der Schachtanlage Asse wurde wie folgt erfasst:

- Qualitative Identifikation von grundwassergefährdenden Stoffen
- Qualitative Identifikation von organischen chemotoxischen Stoffen geordnet nach Verbindungsklassen und deren typischen Vertretern
- Qualitative Identifikation von anorganischen chemotoxischen Stoffen
- Quantitative Erfassung der Materialien in den Abfällen, Abfallbehältern, und Fixierungsmitteln (SG, SUG)
- Charakterisierung der erfassten Materialien nach anorganischen und organischen Komponenten (SUG) und Elementen (qualitativ und quantitativ)
- Quantitative Erfassung der grundwassergefährdenden Stoffe sowie der organischen und anorganischen chemotoxischen Stoffe

6.1.2 Überprüfung der Datenbasis

Das Gesamtinventar nach Stoller beträgt ca. 89.035 Mg. Die detaillierten Ergebnisse sind in einer ACCESS-Datenbank enthalten und in [3] zusammenfassend dargestellt. Ein Vergleich der Ergebnisse der Datenbank [3] mit Ergebnisdarstellungen in [3] zeigte vereinzelt Abweichungen durch Rundungen bzw. Übertragungsfehler.

Vor der Übergabe der Stoller-Daten an die Fa. Buchheim wurden die Ergebnistabellen der Datenbank vom FB Asse einer intensiven Kontrolle unterzogen. Dabei wurden einige wenige Zuordnungsfehler festgestellt, die berichtigt wurden. Beispielsweise war einer Abfallcharge ein falscher Behältertyp zugeordnet worden; durch das abweichende Behältervolumen wirkte sich die Korrektur sowohl auf die Massen der Abfallbehälter als auch auf die Massen der

Abfälle und Fixierungsmittel aus. Auf Basis der korrigierten Stoller-Daten (Gesamtinventar: ca. 89.034 Mg) wurde vom FB Asse eine EXCEL-Datei mit den Massenangaben der Stoffgruppen und Stoffuntergruppen je Einlagerungskammer erstellt. Auf dieser Basis ermittelte die Fa. Buchheim das Inventar chemischer und chemotoxischer Stoffe. Die in diesem Zusammenhang von der Fa. Buchheim durchgeführten zusätzlichen Analogie- und Plausibilitätsbetrachtungen werden im folgenden erläutert.

So wurden z. B. alle Massenverhältnisse von Wasser zu Zement (W/Z-Werte) überprüft, und wo außerhalb des technisch üblichen Bereichs liegend auf erprobte Werte angepasst. Dies gilt hier für alle zementhaltigen Materialien (PZ-Stein, PZ-Ölschieferstein, PZ-Mörtel, Normalbeton, Hämatitbeton), die als Bestandteile von Abfall, Abfallbehälter und Fixierungsmittel vorkommen. Für das Gesamtinventar der Schachanlage Asse liegt im Mittel ein W/Z-Wert von 0,4 vor. Darüber hinaus wurde das Verhältnis Zement zu Zuschlagstoffen (Sand, Kies, Hämatit) auf ein in der Praxis übliches Verhältnis kontrolliert. Das gleiche Vorgehen erstreckte sich auch auf die Materialzusammensetzung von Gipsstein (Kristallwasser, gebundenes Wasser, Verunreinigungen im technischen Produkt), die unter Beachtung der chemischen Grundsätze neu berechnet wurde.

Bei den zellulosehaltigen Materialien (Papier, Holz, Baumwolle, Zellstoff, Zellulose, pflanzliche Abfälle) wurden deren Wasseranteile, jeweils bezogen auf die Trockensubstanz (TS), über die Sorptionsgleichgewichte und Sorptionsisothermen überprüft und gegebenenfalls angepasst. Das Gleiche gilt auch für die Sorption von Wasserdampf an anderen technischen Stoffen wie z. B. Asbest, Aktivkohle, Gelatine, Gips, Glas, Kieselgur, Mineralwolle, Ziegel sowie hochpolymere Kunststoffe wie Nylon (PA), Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS), Plexiglas (PMMA), Polyvinylchlorid (PVC), Leder, Gummi, Knochenleim, Kollagen etc. jeweils bezogen auf die Trockensubstanz.

Es wurden die chemischen Prozesse innerhalb der Abfallgebinde berücksichtigt, die zum Zeitpunkt der Einlagerung abgelaufen sind. Dazu zählt z. B. die thermische Zersetzung von EDTA aufgrund von Temperatur und Verweilzeiten im Verdampfer.

Die chemische Zusammensetzung der VDK aus den Forschungszentren Karlsruhe und Jülich war aus der Fachliteratur und internen Berichten der Forschungszentren sowie aus umfangreichen Versuchen an simulierten und realen VDK zur Verfestigung bzw. Einbindung in Zement und Bitumen bekannt. Besondere Aufmerksamkeit verlangte der Anteil an Chelatbildnern (z. B. EDTA, NTA) und Komplexbildnern (Citrate, Tartrate, Oxalate), an Tensiden (anionische, nichtionische) und anorganischen Salzen. Thermische und katalytische Abbauprozesse von organischen Stoffen, wie z. B. EDTA in Anwesenheit von Fe-, Cu-, Ni-, Cr-Salzen und Nitraten aus Beiz- und Dekontaminationskampagnen, im Verlauf der Eindickung im Verdampfer, waren gesondert zu berücksichtigen. Insbesondere die thermische Zersetzung von EDTA führte aufgrund der Temperatur und Verweilzeiten im Verdampfer zu einer erheblichen Reduzierung der EDTA-Massen. Darüber hinaus war der Eindickungsgrad (flüssig bzw. fest) und eine abschließende Konditionierung und Trocknung (z. B. mit Walzentrocknern) zu bewerten.

VDK aus DWR zeichnen sich durch einen hohen Anteil an Borsäure/Boraten, einen mittleren Anteil an löslichen Nitraten und Sulfaten und einen geringen Anteil an oberflächenaktiven

Stoffen (Tenside), Lösemitteln und thermisch/katalytisch abbaubaren Chelaten und Komplexbildnern aus. VDK aus SWR enthalten im Gegensatz zu den VDK aus DWR nur geringe Borsäure/Boratanteile, während alle anderen gelösten Salze, Chelate/Komplexbildner und suspendierten Feststoffe dem VDK DWR sehr ähnlich sind.

Die chemische Zusammensetzung der Ionenaustauscher (Kugel- und Pulverharze) berücksichtigt die charakteristischen Eigenschaften von (erschöpften) organischen Kationen- und Anionenaustauscherharzen, insbesondere das Polystyrol-Grundgerüst, die funktionellen Gruppen für den Kationen- und Anionenaustausch, die Beladung durch abfiltrierte Feststoffe und Salze sowie den unterschiedlichen Porenwasseranteil von Kugel- und Pulverharzen.

Die bisher pauschal abgeschätzten Bleimassen wurden einer Prüfung und Revision unterzogen. Blei wurde einerseits als Abfall (Bleibleche, Bleiwolle etc.) und andererseits in Form von Abschirmungen, beispielsweise von Strahlenquellen, eingelagert. Bei der Überprüfung der pauschal abgeschätzten Bleimassen wurden u. a. vorhandene Zeichnungen herangezogen und die Bleimassen nach Maßgabe der notwendigen Abschirmung der Strahlenquellen kontrolliert.

Die zusätzliche Plausibilitätsüberprüfung der Fa. Buchheim ergab, dass der von der Fa. Stoller gewählte Ansatz sinnvoll und richtig ist. Insbesondere die Massen der Stoffgruppen werden von der Fa. Buchheim als realistisch angesehen bzw. bewertet. Unter der Maßgabe, dass die Massen der Stoffgruppen i. d. Regel unverändert bleiben, wurden nur in einigen wenigen begründeten Fällen die Berechnungsgrundlagen geändert. Die auf dieser Basis von der Fa. Buchheim durchgeführte Überprüfung ergab eine sehr gute Übereinstimmung mit den Eingangsdaten der Fa. Stoller.

Im Laufe der gesamten Überprüfung ergab sich letztendlich ein um ca. 11 Mg reduziertes Abfallinventar (Stoller-Daten nach [3]: 89.035 Mg). Im Folgenden werden allerdings die bereits durch FB Asse korrigierten Stoller-Daten (ca. 89.034 Mg) den Inventarmassen von Fa. Buchheim [4] gegenübergestellt. So können die Massendifferenzen gezeigt werden, die ausschließlich aus den geänderten Berechnungsgrundlagen resultieren und sich insbesondere durch die Neuberechnung der Bleimassen ergeben. Die hieraus resultierende Massendifferenz von ca. 10,4 Mg (0,01 %), reduziert das revidierte Gesamtinventar auf ca. 89.024 Mg [4]. Die in den nachfolgenden Tabellen enthaltenen gerundeten Werte basieren auf den exakten Werten der Datenbank. Eine Addition der gerundeten Werte kann zu geringfügig abweichenden Ergebnissen gegenüber den exakten Werten der Datenbank führen.

In der Tabelle 6.1 sind die Massenanteile des Inventars jeweils für Abfall, Abfallbehälter und Fixierungsmittel von der Fa. Stoller und der Fa. Buchheim gegenübergestellt. Die Massenangaben der Abfallbehälter und Fixierungsmittel zeigen keinen Unterschied; die v. g. Massendifferenz von ca. 10,4 Mg findet sich vollständig im Abfall wieder (Stoller: 27.096,3 Mg, Buchheim: 27.085,9 Mg).

Tabelle 6-1: Massenanteile des Inventars (Abfall, Abfallbehälter, Fixierungsmittel)

ASSE-INVENTAR (Alle Beiträge)	MASSE Stoller [Mg]	MASSE Buchheim [Mg]	Differenz [Mg]
Abfall	27.096,3	27.085,9	10,4
Abfallbehälter	46.728	46.728	-
Fixierungsmittel	15.210	15.210	-
Σ Alle Einlagerungskammern:	Σ 89.034,3	Σ 89.023,9	Σ 10,4

Da die Massendifferenz vollständig auf die Abfälle entfällt, sind in der Tabelle 6.2 die Bezeichnungen der Stoffgruppen (SG) der Abfälle und die zugehörigen Massen von der Fa. Stoller und der Fa. Buchheim gegenübergestellt. In der letzten Spalte ist weiterhin die Massendifferenz der jeweiligen SG ergänzt. In einigen Fällen wird bei der Fa. Buchheim die SG weiter differenziert, z. B. werden die Harze unter Berücksichtigung ihrer Herkunft (insbesondere DWR und SWR) in Kugel- und Pulverharze unterschieden.

Unterschiedliche Massenangaben finden sich aufgrund der Prüfung und Revision der von der Fa. Stoller pauschal abgeschätzten Bleimassen, die in den SG Bauschutt, Labor- und Mischabfälle, Schrott/Metalle und Strahlenquellen-Behälter sowie der von der Fa. Buchheim neu eingeführten SG „Core-Stopfen+Abschirmung“ vorliegen. Die Massendifferenz der SG VDK1 und VDK3 haben ihre Ursache in einem Zuordnungsfehler zum Abfalllieferer. In der Tabelle 6.2 ist ebenfalls ersichtlich, dass eine Massendifferenz von ca. 10,4 Mg vorliegt.

Tabelle 6-2: Massenanteile der Stoffgruppen (SG) im Abfall

ASSE-INVENTAR SG im Abfall Stoller	ASSE-INVENTAR SG im Abfall Buchheim	MASSE Stoller [Mg]	MASSE Buchheim [Mg]	Differenz [Mg]
A-Kohle/Grafit	Aktivkohle	48,8	3,5	-
	Grafit		45,3	
Asche	Asche	96,5	96,5	-
Asche/Harz	Asche/Kugelharze/Zellulose	2,0	1,5	-
	Asche/Kugelharze		0,5	
Asche/Lösungsmittel	Asche/Kerosin/Kieselgur	6,3	6,3	-
Asche/Mischabfall	Asche/Mischabfall	11,1	11,1	-
Asche/Schlamm	Asche/Schlamm	10,5	10,5	-
Asche/Schrott	Asche/Schrott	40,8	37,8	-
	Asche/Schrott/Salze		2,9	
Asche/VDK	Asche/VDK	3,7	3,7	-
Bauschutt	Bauschutt	4.450,0	4.449,4	0,6
Chemikalien	Chemikalien	1,0	1,0	-
Fällschlämme	Fällschlämme	84,2	84,2	-
Filter/Filterelemente	Filter/Filterelemente	266,4	266,4	-
Filterhilfsmittel/-rückstände	Filterhilfsmittel/-rückstände	217,6	217,6	-
Filterkerzen	Filterkerzen	12,4	12,4	-
Glas/Keramik	Glas	63,7	63,7	-

ASSE-INVENTAR SG im Abfall Stoller	ASSE-INVENTAR SG im Abfall Buchheim	MASSE Stoller [Mg]	MASSE Buchheim [Mg]	Differenz [Mg]
Harz/Mischabfall	Kugelharz/Mischabfall	2,8	0,6	-
	Pulverharz/Mischabfall		2,2	
Harze	Harze	128,2	0,2	-
	Kugelharze		37,4	
	Pulverharze		90,7	
Kunststoffe/Gummi/Leder	Kunststoffe/Gummi/Leder	55,2	55,2	-
Laborabfälle	Laborabfälle	1.234,9	1.234,2	0,7
Lösungsmittel/Schrott	Lösemittel/Schrott	4,8	4,8	-
Mischabfälle	Mischabfälle	10.993,7	10.986,8	6,9
Öle/Lösungsmittel	BTEX/Lösungsmittel	30,2	2,5	-
	Öl		17,7	
	Öle/Trichlorethan		0,4	
	TBP/Kerosin		9,6	
Schlacke	Schlacke	1,9	1,9	-
Schlämme	Schlämme	454,9	454,9	-
Schlamm/Lösungsmittel	Schlamm/Lösemittel	3,0	3,0	-
Schlamm/Mischabfall	Schlamm/Mischabfall	63,5	63,5	-
Schlamm/Schrott	Schlamm/Schrott	36,2	36,2	-
Schrott/Metalle	Schrott/Metalle	5.750,2	5.746,5	3,7
Strahlenquellen	Strahlenquellen-Behälter	10,9	10,3	0,7
Tierkadaver	Tierkörper konserviert	0,9	0,9	-
U-/Th-Rückstände	U-/Th-Rückstände	69,5	69,5	-
VDK/Filterhilfsmittel	VDK/Filterhilfsmittel	64,1	64,1	-
VDK/Harz	VDK/Pulverharz	40,7	40,8	-
VDK/Mischabfall	VDK/Mischabfall	28,5	28,5	-
VDK/Schlamm	VDK/Schlamm	171,5	171,5	-
VDK/Schrott	VDK/Schrott	222,3	222,3	-
VDK1 (SWR)	VDK1 (SWR)	21,9	20,2	1,6
VDK2 (DWR)	VDK2 (DWR)	405,1	405,1	-
VDK3 (sonstige)	VDK3 (sonstige)	49,7	51,5	- 1,9
VDK4 (GFK/KFK)	VDK4 (GFK/KFK)	734,4	734,4	-
Wässrige Abfälle	Wässrige Abfälle	2,1	2,2	- 0,1
Zellulosehaltiges Material	Zellulosehaltiges Material	1.200,2	1.200,2	-
	Core-Stopfen+Abschirmung	-	1,8	- 1,8
Σ Massenanteile Abfälle:		Σ 27.096,3	Σ 27.085,9	Σ 10,4

In der Tabelle 6.3 sind die Bezeichnungen der Stoffuntergruppen (SUG) der Abfälle und die zugehörigen Massen von der Fa. Stoller und der Fa. Buchheim gegenübergestellt. In der letzten Spalte ist weiterhin die Massendifferenz der jeweiligen SUG ergänzt. Unterschiedliche Massenangaben finden sich aufgrund der Prüfung und Revision der von der Fa. Stoller pauschal abgeschätzten Bleimassen, die in den SUG FE-Metalle, FE-Metalle1,

NE-Metalle¹⁾, SM-Salze¹⁾ (Schwermetallsalze) sowie der von der Fa. Buchheim neu eingeführten SUG Stahl St-37 vorliegen. Die Massen der SUG Hämatit sowie die Massendifferenzen der SUG Silikate/Aluminate¹⁾, freies und gebundenes Wasser und Zement (5,1 Mg + 1.723,0 Mg + 29,2 Mg + 99,3 Mg + 225,2 Mg = 2.081,8 Mg) finden sich in den Massen der von der Fa. Buchheim neu eingeführten SUG Hämatit- und Normalbeton und PZ-Stein (15,3 Mg + 2.065,1 Mg + 2,2 Mg = 2.082,6 Mg) wieder. Weiterhin wurde von der Fa. Buchheim die SUG Berylliumpulver ergänzt. Die Massendifferenzen der SUG Lösungsmittel 1 und Lösungsmittel 2 haben ihre Ursache in einem Zuordnungsfehler von der Fa. Stoller. In einigen Fällen wird bei der Fa. Buchheim die SUG weiter differenziert, insbesondere gebundenes und freies Wasser wird in adsorbiertes, gebundenes, Hydratwasser, Kristallwasser und Porenwasser unterschieden. Bei den mit * gekennzeichneten Werten handelt es sich um Abweichungen durch Rundungen bzw. Übertragungsfehler gegenüber [3].

Tabelle 6-3: Massenanteile der Stoffuntergruppen (SUG) im Abfall

ASSE-INVENTAR SUG im Abfall Stoller	ASSE-INVENTAR SUG im Abfall Buchheim	MASSE Stoller [Mg]	MASSE Buchheim [Mg]	Differenz [Mg]
A-Kohle	Aktivkohle TS	15,9	15,9	-
Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	0,0	0,0	-
Asbest	Asbest TS	76,7	76,7	-
Asche	Asche TS	143,4	143,4	-
As-Verbindungen	Arsenverbindungen	0,7	0,7	-
Ba-Bromid	Bariumbromid		0,2	
	Kristallwasser	0,3	0,0	-
Bitumen	Bitumen	4,3	4,3	-
Borsäure/Borate	Borate KKS TS		31,6	
	Borsäure/Borate TS	210,5	178,9	-
CaCO ₃	CaCO ₃	0,1	0,1	-
CaF ₂	CaF ₂	0,7	0,7	-
Collagene	Kollagene TS		2,4	
	Tierkörper TS	2,6	0,3	-
EDTA	EDTA/Komplexbildner	0,6	0,6	-
FE-Metalle	FE-Metalle		12.476,5	
	Stahl 1.4541		58,5	
	Stahl 1.4571	12.536,7*	2,2	- 0,4
FE-Metalle1 (Stahl)	Stahl 1	108,5*	110,9	- 2,5
FE-Metalle2 (Fe)	Stahl 2	474,7	474,7	-
FE-Metalle3 (VA-Stahl)	VA-Stahl	2,6	2,6	-
Fe-Oxide	Korrosionsprodukte	30,8	30,8	-
Glas	Geräteglas	789,6	789,6	-
Grafit	Grafit TS	62,1	62,1	-
Gummi	Gummi (vulkanisiert)		126,9	
	Silikonkautschuk	147,9	21,0	-
Hämatit		5,1	-	-

¹⁾ Die SUG SM-Salze entfällt bei der Fa. Buchheim, da es sich hierbei um einen Zuordnungsfehler von der Fa. Stoller handelt.

ASSE-INVENTAR SUG im Abfall Stoller	ASSE-INVENTAR SUG im Abfall Buchheim	MASSE Stoller [Mg]	MASSE Buchheim [Mg]	Differenz [Mg]
Huminstoffe	Erde	5,2	5,2	5,1
Keramik	Keramik		2,4	
	SIC	5,8	3,3	-
Kieselgur	Kieselgur TS	83,6	83,6	-
Komplexbildner	Chelate/Komplexbildner	39,9	39,9	-
Kunststoffe	Kunststoffe		1.046,8	
	Polethylen	1.120,8	74,0	-
Kunststoffe1 (PVC)	PVC (weich)	158,3	158,3	-
Kunststoffe2 (PE)	Polethylen	45,2	45,2	-
Kunststoffe3 (Plexiglas)	Acrylgas	0,0	0,0	-
Kunststoffe4 (Polypropylen)	Polypropylen	0,4	0,4	-
LM1 (TBP/Dodecan)	TBP/Kerosin	11,4	22,5	- 11,1
LM2 (BTEX)	BTEX/Lösungsmittel	19,9	8,8	11,1
LM3 (Trichlorethan)	Trichlorethan	0,3	0,3	-
LM4 (Formaldehyd)	Formalin	0,3	0,3	-
NE-Metall1 (Pb)	Blei	25,7*	10,9	14,7
NE-Metall2 (Al)	Aluminium	68,9	68,9	-
NE-Metall4 (Zr)	Zircaloy 2	35,8	35,8	-
NE-Metall5 (Ti)	Titan	1,7	1,7	-
NE-Metall6 (Cu)	Kupfer	19,6	19,6	-
NE-Metall7 (Co)	Kobalt	0,3	0,3	-
NE-Metalle	Aluminium		31,1	
	NE-Metalle	1.098,9	1.068,0	- 0,3
Nitrat	NaNO ₃	0,2	0,2	-
Öle	Öl	50,9	50,9	-
Polystyrol	Kugelharz TS		21,2	
	Pulverharz TS	117,4	96,2	-
Salze	Konzentrat Borat		0,2	
	Laborwasser TS		1,6	
	Salze TS		20,9	
	Salze FHM TS		29,3	
	Salzkonzentrat TS		218,7	
	VDK Salz TS	1.329,6	1.059,1	- 0,1
Schlacke	Schlacke TS	1,9	1,9	-
Silikate/Aluminate	Erdreich	39,1	39,1	-
	... 1 (Sand, Kies, Steine)	Kieselgur TS		226,8
	Sand/Kies/Steine	2.383,1	433,3	1.723,0
... 2 (Stein-, Mineralwolle)	Mineralwolle	321,3	321,3	-
... 3 (Ziegel)	Ziegel	8,0	8,0	-
SiO ₂	Siliciumdioxid	0,2	0,2	-
SM-Salze ¹⁾	-	0,7	-	0,7
Wasser, frei	Ads. Wasser		75,3	
	Geb. Wasser		32,9	

¹⁾ Die SUG SM-Salze entfällt bei der Fa. Buchheim, da es sich hierbei um einen Zuordnungsfehler von der Fa. Stoller handelt.

ASSE-INVENTAR SUG im Abfall Stoller	ASSE-INVENTAR SUG im Abfall Buchheim	MASSE Stoller [Mg]	MASSE Buchheim [Mg]	Differenz [Mg]
	Hydratwasser		467,4	
	Porenwasser	606,3*	1,5	29,2
Wasser, geb.	Ads. Wasser		0,1	
	Geb. Wasser		168,1	
	Hydratwasser		35,1	
	Porenwasser	380,7	78,0	99,3
Zellulose	Zellulose TS	2.847,0	2.847,0	-
Zellulose1 (Papier)	Papier TS	852,4	852,4	-
Zellulose2 (Holz)	Holz TS	101,2	101,2	-
Zellulose3 (Baumwolle)	Baumwolle TS	449,3	449,3	-
Zellulose4 (Zellstoff)	Zellstoff TS	25,5	25,5	-
Zellulose5 (Pflanzen)	Pflanzliche Abfälle TS	0,8	0,8	-
Zement	-	225,2		225,2
-	Hämatitbeton	-	15,3	- 15,3
-	Normalbeton	-	2.065,1	- 2.065,1
-	Portlandzementstein	-	2,2	- 2,2
-	Beryllimpulver	-	0,000001	- 0,000001
-	Stahl ST 37	-	0,9	- 0,9
Σ Massenanteile Abfälle:		Σ 27.096,3	Σ 27.085,9	Σ 10,4

6.1.3 Zwiebelschalenprinzip

Das Abfallinventar wurde vollständig zerlegt in Materialien, Komponenten (auch Verbindungen) und einzelne Elemente.

Die stofflichen Anteile

1. der Abfälle
2. der Abfallbehälter
3. der verwendeten Fixierungsmittel

wurden qualitativ und quantitativ für die Erfassung des Gesamtinventars gemäß „Zwiebelschalenprinzip“ in drei Bearbeitungsschritten systematisch erfasst. Diese sind:

- a) das Material (Stoffgruppe/Stoffuntergruppe), z. B. „Bauschutt“ (anorganischer Abfall) bzw. „Kugelharze“ (organischer Abfall)
- b) die Komponenten, z. B. für das Material „Bauschutt“ (SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , H_2O etc.) bzw. für das Material „Kugelharze“ (Polystyrol, Porenwasser etc.)
- c) die chemischen Elemente aus den Komponenten für das Material „Bauschutt“ (Si, Ca, Al, O, H etc.) bzw. für das Material „Kugelharze“ (C, H, O, N, S etc.)

In jedem einzelnen Material wurde nach der anorganischen bzw. organischen Natur der darin enthaltenen Komponenten und daraus abgeleitet der betreffenden Elemente unterschieden, so

dass im Gesamtinventar der anorganische bzw. organische Anteil der Abfälle, der Abfallbehälter und der Fixierungsmittel ermittelt werden konnte („Zwiebelschalenprinzip“ für mehrere Zwiebeln). Die graphische Darstellung des Zwiebelschalenprinzips ist aus Abbildung 6-1 ersichtlich.

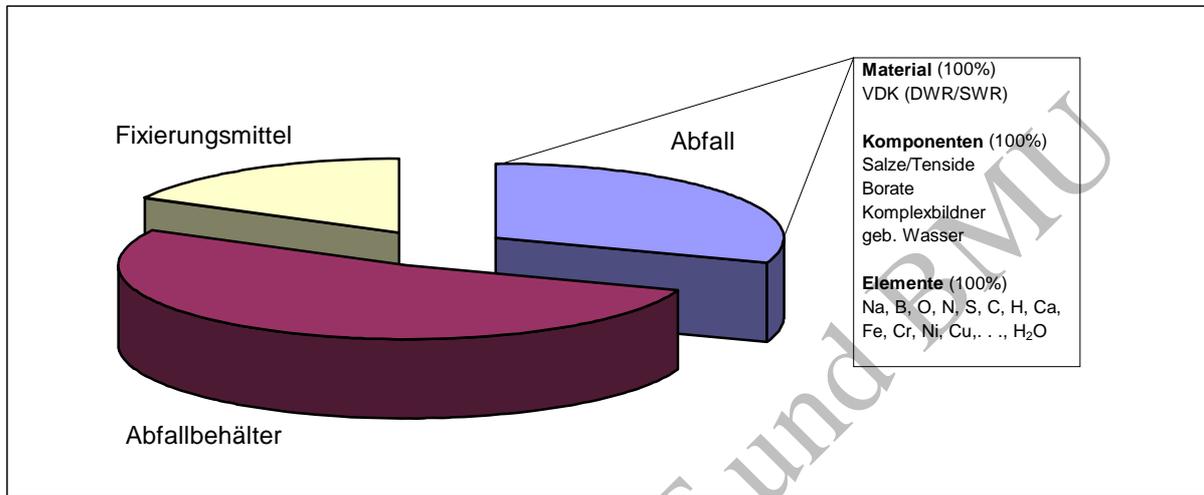


Abb. 6-1: Zwiebelschalenprinzip am Beispiel der Verdampferkonzentrate (VDK) aus Druck- und Siedewasserreaktoren (DWR/SWR)

Am Beispiel der Verdampferkonzentrate (VDK) aus DWR bzw. SWR wurden in der angegebenen Reihenfolge die Materialien und ihre typischen Komponenten und Elementen, zu jeweils 100 % charakterisiert. Wasser ist nicht in die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt worden, weil damit ein Informationsverlust der verschiedenen Erscheinungsformen des Wassers verbunden wäre.

Für generische Bezeichnungen von Materialien (z. B. "Anionische Tenside") wurden die Auswertungen mit einem repräsentativen Vertreter durchgeführt, in diesem Fall "Dodecylbenzolsulfonat Na-Salz (DDBSA)".

Wie bereits erwähnt, ist die chemische Form der Komponenten im Material generell unterschieden worden nach ihrer anorganischen bzw. organischen Natur und wenn möglich nach zusätzlichen Angaben, und zwar für:

- Anorganika: Salz, Oxid, Glas, Legierung, metallisch, mineralisch, elementar, Carbid
- Organika: Salz

Darüber hinaus sind die unterschiedlichen Erscheinungsformen des Wassers im Inventar qualitativ und quantitativ berücksichtigt worden. Es ist zwischen "Kristallwasser" bei Gips, Talkum, Glaubersalz, Borax und Natriummetaborat, "Porenwasser" bei Pulver- und Kugelharzen, PZ-Stein, PZ-Mörtel, Normal- und Hämatitbeton, PZ-Ölschieferstein, "Adsorbiertes Wasser" bei Sand, Kies, Steine, Kieselgur, Glas und Schlacke unterschieden worden. "Gebundenes Wasser" ist bei PZ-Stein, PZ-Mörtel, Normal- und Hämatitbeton, PZ-Ölschieferstein, Knochenleim, Kollagen und VDK berücksichtigt worden. „Hydratwasser“ ist für die zellulosehaltigen Materialien Holz, Papier, Baumwolle, Zellulose,

Zellstoff und pflanzliche Abfälle berücksichtigt worden.

Um diese bis ins Detail gehende Charakterisierung zu ermöglichen, wurden von der Fa. Buchheim umfangreiche Literaturrecherchen vorgenommen, Produkt- und Firmeninformationen verwendet, in- und ausländische Fachzeitschriften, Tagungsbände, Standardwerke der chemischen und physikalischen Fachliteratur, der Bau- und Werkstoffkunde sowie DIN-Vorschriften konsultiert und dieses Informationsangebot über einen weiten Zeithorizont ausgewertet. So wurden z. B. für die chemische Charakterisierung von PZ-Mörtel, Normalbeton und Hämatitbeton die folgenden Elemente berücksichtigt: Si, Ca, O, Fe, Al, Mg, S, K, C, Sr, Ti, Ba, Zn, Na, F, Mn, Zr, Co, Ni, Rb, V, Cu, Pb, Ce, Th, Li, La, Bi, Cl, Nd, Sn, Cr, Hf, Tm, Sc, Nb, Sm, Cs, U, Yb, Ho, Eu, Cd, Ag, Tl, Se, Te, Sb, As, Be, B, Hg sowie die Komponenten "Porenwasser" und "Gebundenes Wasser".

Die Charakterisierung erfolgte für das komplette Abfallinventar bis hin zu einzelnen Elementen und kann so für die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen herangezogen werden. Der so berechnete Datenbestand ermöglicht außerdem die Prüfung auf Vollständigkeit im Rahmen der Qualitätskontrolle.

6.1.4 Materialschichtmodell

Bei der Beschreibung der radioaktiven Abfälle wurden neben einfachen Beschreibungen mit eindeutig zu interpretierenden Begriffen auch Beschreibungen verwendet, welche eine Mischung aus mehreren Materialien beinhalten, z. B. „Mischabfälle“. Solche Abfälle enthalten Bestandteile (z. B. Kunststoffe) welche ihrerseits wiederum aus verschiedenen Materialien (z. B. Polyvinylchlorid, Polyethylen usw.) bestehen. Dies kann zu komplizierten Materialabhängigkeiten führen. Zudem stellte sich die Frage, wie die chemische Zusammensetzung eines Materials dargestellt werden soll: enthält der oben betrachtete Mischabfall nun 25 % Kunststoffe oder 15 % Polyvinylchlorid, 5 % Polyethylen und 5 % Polypropylen?

Ferner war bei der Beschreibung des Abfallinventars zu beachten, dass es sich bei den betrachteten Materialien um technische Produkte handelt, die neben den Hauptbestandteilen i. d. Regel z. B. Legierungsbestandteile (nichtrostende Stähle), Spurenelemente (Baustähle, nichtrostende Stähle und zementhaltige Materialien), Verunreinigungen und/oder Additive bzw. (inerte) Füllstoffe (Kunststoffe) bzw. Additive (waschaktive Substanzen - Tenside) enthalten, um ihren technischen Verwendungszweck bei einem wirtschaftlich attraktiven Preis erfüllen zu können.

Das Materialschichtmodell wurde eingeführt, um eine eindeutige Darstellungsweise der Materialien bzw. Abfallbestandteile ohne Informationsverlust zu erreichen, Datenkonsistenz bei den Materialzusammensetzungen und -abhängigkeiten zu gewährleisten und um Inventare einzelner Materialien richtig berechnen und interpretieren zu können.

Abfallbestandteile bzw. Materialien können bis auf die Stufe Elemente zerlegt werden. Elemente gehören in dem hier verwendeten Modell zur Schicht 0. Materialien bzw. Komponenten/Grundsubstanzen, welche nur noch in Elemente zerlegt werden können,

gehören zur Schicht 1. Materialien, welche aus Elementen und mindestens einem Schicht-1-Material aufgebaut sind, gehören zur Schicht 2.

Wasser (H_2O) wird nicht in die Elemente H und O zerlegt (Sonderfall). H_2O gehört zur Schicht 0. Wasser mit Zusatzinformationen gehört zur Schicht 1 (d. h. Erscheinungsformen des Wassers wie „Gebundenes Wasser“, „Porenwasser“, „Adsorbiertes Wasser“, „Hydratwasser“, „Kristallwasser“).

Anhand des Materials „Gips“ mit der Schichtzugehörigkeit 2 (Szg 2) soll der Schichtaufbau von Materialien gezeigt werden. In Klammern ist jeweils die Schichtzugehörigkeit des Abfallbestandteils bzw. Materials angegeben. Gips (Szg 2) besteht zu 79,1 % aus $CaSO_4$ und zu 20,9 % aus Kristallwasser. $CaSO_4$ lässt sich letztlich in die Elemente O, Ca und S (alle Szg 0) zerlegen.

Das Materialschichtmodell erlaubt, das Inventar jedes in der SchachanlageASSE vorkommenden Materials vollständig und korrekt wiederzugeben.



7 Ergebnisse

Das komplette Abfallinventar wurde vollständig als Materialien, Komponenten (auch Verbindungen) und einzelne chemische Elemente erfasst. Dies erfolgte unabhängig davon, ob diese Stoffe chemotoxisch sind oder nicht, da auch nicht-chemotoxische Stoffe für die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen herangezogen werden. In diesem Kapitel sind die wesentlichen Ergebnisse dieser Auswertung zusammengestellt.

In den folgenden Tabellen sind die Massenanteile aus allen Einlagerungskammern sowie aus Abfall, Abfallbehälter und Fixierungsmitteln zusammengestellt (Kapitel 7.1). Die Massenanteile aus allen Materialien und die Massenanteile jeweils für Abfall, Abfallbehälter und Fixierungsmittel sind in Kapitel 7.2 zusammengestellt. Die Massen der grundwassergefährdenden Stoffe (Stofffamilien und Stoffgruppen der Liste I und II der Grundwasserverordnung) sind in Kap. 7.3 aufgeführt. Die chemotoxischen Anteile der organischen und anorganischen Materialien sind in Kapitel 7.4 aufgelistet. Die Uran- und Thorium-Anteile, die als Spurenelemente in den zementhaltigen Materialien des Abfallinventars vorkommen, werden ebenfalls dargestellt (Kapitel 7.5).

Die Datenbasis, die der Ermittlung der o. g. Massenanteile zu Grunde lag, sind die von der Fa. Buchheim überprüften und geringfügig geänderten Massenangaben der Materialien (Kapitel 6.1.1 und 6.1.2). Als Ergebnis der detaillierten Überprüfung des gesamten Datenbestandes der eingelagerten Abfallgebinde ist herauszustellen, dass das nunmehr vorliegende Abfallinventar, aufgeschlüsselt nach Materialien, Komponenten und einzelnen Elementen, als das bestmögliche realistische Inventar anzusehen und für die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen zu Grunde zulegen ist.

7.1 Inventarmassen

Die Gesamtmasse des Inventars beträgt 89.024 Mg. In Tabelle 7-1 sind die Massenanteile aus allen Einlagerungskammern zusammengestellt. Der geringste Massenanteil entfällt auf die MAW-Kammer 8a/511m (731 Mg). In die MAW-Kammer wurden ausschließlich 200-Liter-Fässer eingelagert, deren Anteil nur etwa 1 % der eingelagerten Abfallgebinde ausmachen. Der größte Massenanteil entfällt auf die Kammer 2/750mNa2 (15.968 Mg). In diese Kammer wurden Fässer eingelagert, deren Anteil etwa 30 % aller eingelagerten Abfallgebinde entspricht. Die großen Massenanteile in den restlichen Kammern (6/750m, 11/750m, 7/750m) resultieren aus dem relativ hohen Anteil an eingelagerten VBA.

In Tabelle 7-2 sind die Massenanteile jeweils für Abfall, Abfallbehälter und Fixierungsmittel zusammengestellt. 52,5 % der Massenanteile am Inventar entfallen auf die Abfallbehälter (Verpackung). Diese resultieren hauptsächlich aus VBA sowie Fässern, Metallverpackungen und Behälterauskleidungen. Der Anteil der Fixierungsmittel (17,1 %) resultiert hauptsächlich aus der Zementierung der radioaktiven Abfälle. Der restliche Massenanteil von 30,4 % am Inventar entfällt auf die eigentlichen Abfallmaterialien.

Tabelle 7-1: Massenanteile des Inventars aus allen Einlagerungskammern (alle Beiträge)

ASSE-INVENTAR (Alle Einlagerungskammern)	MASSE IM ASSE-INVENTAR [Mg]	MASSE IM ASSE-INVENTAR [%]
Σ Einl. Kammer 1/750m:	Σ 4.269	Σ 4,80
Σ Einl. Kammer 2/750m:	Σ 3.564	Σ 4,00
Σ Einl. Kammer 2/750mNa2:	Σ 15.968	Σ 17,94
Σ Einl. Kammer 4/750m:	Σ 2.271	Σ 2,55
Σ Einl. Kammer 5/750m:	Σ 7.027	Σ 7,89
Σ Einl. Kammer 6/750m:	Σ 15.754	Σ 17,70
Σ Einl. Kammer 7/725mNa2:	Σ 3.536	Σ 3,97
Σ Einl. Kammer 7/750m:	Σ 9.860	Σ 11,08
Σ Einl. Kammer 8/750m:	Σ 4.646	Σ 5,22
Σ Einl. Kammer 8a/511m:	Σ 731	Σ 0,82
Σ Einl. Kammer 10/750m:	Σ 1.855	Σ 2,08
Σ Einl. Kammer 11/750m:	Σ 15.172	Σ 17,04
Σ Einl. Kammer 12/750m:	Σ 4.370	Σ 4,91
Σ Alle Einlagerungskammern:	Σ 89.024	Σ 100,00

Tabelle 7-2: Massenanteile des Inventars (Abfall, Abfallbehälter, Fixierungsmittel)

ASSE-INVENTAR (Alle Beiträge)	MASSE IM ASSE-INVENTAR [Mg]	MASSE IM ASSE-INVENTAR [%]
Abfall	27.086	30,4
Abfallbehälter	46.728	52,5
Fixierungsmittel	15.210	17,1
Σ Massenanteile im Inventar:	Σ 89.024	Σ 100,0

7.2 Massen der Materialien

Die Erfassung und Auswertung des gesamten Abfallinventars der Schachanlage Asse führt in Bezug auf das durch Abfall, Abfallbehälter und Fixierungsmittel zusammengesetzte Inventar zu folgenden Ergebnissen:

Zu den häufigsten Massenanteilen aus allen Materialien (Tabelle 7-3), d. h. der Gesamtmasse der eingelagerten Abfallgebände in der Schachanlage Asse bestehend aus Abfall, Abfallbehältern und Fixierungsmitteln, tragen bei mit ca. 64,4 % die zementhaltigen Materialien (Normalbeton, PZ-Stein, Hämatitbeton, PZ-Mörtel, PZ-Ölschieferstein), mit ca. 21,5 % FE-Metalle/Stahl (Baustähle und nichtrostende Stähle), mit ca. 5,4 % zellulosehaltige Materialien (Papier, Holz, Baumwolle, Zellstoff, Zellulose, pflanzliche Abfälle), weiterhin Kunststoffe, nicht näher spezifizierte NE-Metalle, der Salzanteil (Trockensubstanz) der VDK

etc. Im ANHANG B.1 sind die Massen der einzelnen Stoffuntergruppen des Gesamtinventars aufgelistet. Im Folgenden werden die Stoffgruppen ähnlicher Materialien (z. B. zementhaltige Materialien, zellulosehaltige Materialien, Kunststoffe) der besseren Übersicht wegen zusammenfassend betrachtet.

Tabelle 7-3: Massenanteile der Materialien - alle Beiträge

ASSE-INVENTAR	MASSE IM ASSE-INVENTAR	MASSE IM ASSE-INVENTAR
Alle Materialien (Auswahl)	[Mg]	[%]
Zementhaltige Materialien	57.350	64,42
FE-Metalle / Stahl	19.179	21,54
Zellulosehaltige Materialien	4.779	5,37
Kunststoffe	1.593	1,79
NE-Metalle (nicht näher spezifiziert)	1.068	1,20
VDK Salz TS	1.063	1,19
Geräteglas	792	0,89
Sand/Kies/Steine	433	0,49
Mineralwolle	321	0,36
Kieselgur	316	0,35
Bitumen	305	0,34
Wasser	271	0,30
Salzkonzentrat TS	219	0,25
Borsäure/Borate TS	211	0,24
Pulverharze	160	0,18
Torf/Aktivkohle	147	0,16
Asche	145	0,16
Aluminium	100	0,11
Asbest	77	0,09
Grafit	63	0,07
Öl	51	0,06
Chelate/Komplexbildner	40	0,04
Erdreich	39	0,04
Kugelharze	36	0,04
Zircaloy 2	36	0,04
Korrosionsprodukte	31	0,03
Vermiculit	29	0,03
Salze FHM TS	29	0,03
TBP/Kerosin	22	0,03
Kupfer	20	0,02
Salze TS	17	0,02
Zink	14	0,02
Gipsstein	14	0,02

ASSE-INVENTAR	MASSE IM ASSE-INVENTAR	MASSE IM ASSE-INVENTAR
Alle Materialien (Auswahl)	[Mg]	[%]
Blei	13	0,01
BTEX/Lösemittel	9	0,01
Ziegel	8	0,01
Erde	5	0,01
Σ o.g. Materialien:	Σ 89.005	Σ 99,98
Σ Restliche Materialien:	Σ 19	Σ 0,02
Σ Massenanteile des Inventars:	Σ 89.024	Σ 100,0

Im Folgenden wird auf die einzelnen Bestandteile von Abfall, Abfallbehälter und Fixierungsmittel eingegangen. Dem ANHANG B.2 können die Massen der einzelnen Stoffuntergruppen entnommen werden, geordnet nach Abfall, Abfallbehälter und Fixierungsmittel.

Zu den häufigsten Massen von Materialien im Abfall (Tabelle 7-4) gehören vor allem FE-Metalle/Stahl (Baustähle und nichtrostende Stähle), zellulosehaltige Materialien (Papier, Holz, Baumwolle, Zellstoff, Zellulose, pflanzliche Abfälle), zementhaltige Materialien (Normal- und Hämatitbeton, PZ-Stein), Kunststoffe (nicht näher spezifizierte Kunststoffe sowie PVC, Gummi, Polyethylen, Silikonkautschuk), nicht näher spezifizierte NE-Metalle, Salzanteile der VDK berechnet als Trockensubstanz (TS), Geräteglas und in geringerem Umfang Sand/Kies/Steine, Mineralwolle, Kieselgur, Salzkonzentrat TS, Borsäure/Borate TS, Pulverharze, Asche, Aluminium etc. Die Feststoffanteile der Salze werden differenziert hinsichtlich der Abfallmaterialien: VDK Salz TS stammen aus Verdampferkonzentraten, Salzkonzentrat TS aus Schlämmen, Salze FHM TS aus Filterhilfsmitteln/Filterrückständen, Salze TS aus Fällschlämmen und weiter aus Misch- und Laborabfällen, Bauschutt etc. Bei den 271 Mg Wasser handelt es sich hauptsächlich um gebundenes Wasser der v. g. Feststoffanteile der Salze und adsorbiertes Wasser.

Zu den häufigsten Massen der Abfallbehälter (Tabelle 7-5) zählen zementhaltige Materialien (Normal- und Hämatitbeton insbesondere der VBA sowie PZ-Stein bei der „Fass-in-Fass“-Verpackung zwischen Außen- und Innenfass bzw. für den Ringraum zwischen VBA und eingestelltem Abfallgebände), FE-Metalle/Stahl (Baustahl der Blechtrommeln, der Rollreifen- und Rollsickenfässer, Armierungsstahl für die VBA in Normalbeton- und Hämatitbeton-Ausführung, Gussabschirmungen), Kunststoffe (Kunstharzbeschichtung und EPDM-Dichtung der Abfallbehälter), Zink (Verzinkung der Behälter aus Baustahl) sowie die bei einigen Behältern verwendete Bleiabschirmung (beispielsweise für umschlossene Strahlenquellen).

Als Fixierungsmittel (Tabelle 7-6) für die radioaktiven Abfälle dienten im Wesentlichen zementhaltige Materialien (PZ-Mörtel, PZ-Stein, PZ-Ölschieferstein), in geringem Umfang Bitumen, Torf/Aktivkohle, Kunststoffe (Polystyrol, PVC), Vermiculit, Gipsstein, Kieselgur und Knochenleim.

Tabelle 7-4: Massenanteile der Materialien im Abfall

ASSE-INVENTAR	MASSE IM ASSE-INVENTAR	MASSE IM ASSE-INVENTAR
Materialien im Abfall (Auswahl)	[Mg]	[%]
FE-Metalle / Stahl	13.126	14,74
Zellulosehaltige Materialien	4.779	5,37
Zementhaltige Materialien	2.083	2,34
Kunststoffe	1.472	1,65
NE-Metalle (nicht näher spezifiziert)	1.068	1,20
VDK Salz TS	1.063	1,19
Geräteglas	792	0,89
Sand/Kies/Steine	433	0,49
Mineralwolle	321	0,36
Kieselgur	310	0,35
Salzkonzentrat TS	219	0,25
Borsäure/Borate TS	211	0,24
Pulverharze	160	0,18
Asche	145	0,16
Aluminium	100	0,11
Asbest	77	0,09
Grafit	63	0,07
Öl	51	0,06
Chelate/Komplexbildner	40	0,04
Erdreich	39	0,04
Kugelharze	36	0,04
Zircaloy 2	36	0,04
Korrosionsprodukte	31	0,03
Salze FHM TS	29	0,03
TBP/Kerosin	22	0,03
Kupfer	20	0,02
Salze TS	17	0,02
Aktivkohle	16	0,02
Blei	11	0,01
BTEX/Lösungsmittel	9	0,01
Ziegel	8	0,01
Erde	5	0,006
Bitumen	4	0,005
Σ o.g. Abfälle:	Σ 27.068	Σ 30,41
Σ Restliche Abfälle:	Σ 18	Σ 0,02
Σ Massenanteile Abfälle:	Σ 27.086	Σ 30,43
Σ Massenanteile des Inventars:	Σ 89.024	Σ 100,0

Tabelle 7-5: Massenanteile der Materialien im Abfallbehälter

ASSE-INVENTAR	MASSE IM ASSE-INVENTAR	MASSE IM ASSE-INVENTAR
Materialien im Abfallbehälter	[Mg]	[%]
Zementhaltige Materialien	40.605	45,61
FE-Metalle / Stahl	6.052	6,80
Kunststoffe	55	0,06
Zink	14	0,02
Blei	2	0,002
Σ Massenanteile Abfallbehälter:	Σ 46.728	Σ 52,49
Σ Massenanteile des Inventars:	Σ 89.024	Σ 100,0

Tabelle 7-6: Massenanteile der Materialien im Fixierungsmittel

ASSE-INVENTAR	MASSE IM ASSE-INVENTAR	MASSE IM ASSE-INVENTAR
Materialien im Fixierungsmittel:	[Mg]	[%]
Zementhaltige Materialien	14.663	16,47
Bitumen	300	0,34
Torf/Aktivkohle	131	0,15
Kunststoffe	65	0,07
Vermiculit	29	0,03
Gipsstein	14	0,02
Kieselgur	6	0,01
Knochenleim	1	0,002
Σ Massenanteile Fixierungsmittel:	Σ 15.210	Σ 17,09
Σ Massenanteile des Inventars:	Σ 89.024	Σ 100,0

7.3 Massen der grundwassergefährdenden Stoffe

Die in den Listen I und II Grundwasserverordnung [8] genannten Stofffamilien und Stoffgruppen (siehe Kap. 5.1), die zu einer schädlichen Verunreinigung des Grundwassers oder zu einer sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften führen können, werden für die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen herangezogen. In Tabelle 7-7 sind die Stoffe der jeweiligen Stofffamilien und Stoffgruppen zusammengestellt. Dabei ist im Hinblick auf die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen und Schutzziele die Umrechnung in die wasserrechtlich relevante Erscheinungsform (Parameter) berücksichtigt.

Organische Bromverbindungen (Liste I, lfd. Nr. 1) und organische Zinnverbindungen (Liste I, lfd. Nr. 3) sind im Abfallinventar nicht vorhanden.

Entsprechen die wasserrechtlich relevanten Stoffe (Parameter) den Komponenten bzw. Elementen, z. B. Liste I, lfd. Nr. 4, sind die Massenangaben mit denen im ANHANG B.3. (Komponenteninventar) bzw. ANHANG B.4. (Elementeninventar) identisch.

Werden die wasserrechtlich relevanten Stoffe (Parameter in Form von Elementen) aus den Komponenten rechnerisch ermittelt, entsprechen die Summen der Massen der ausgewiesenen Parameter denen im ANHANG B.4. (Elementeninventar), z. B. CL der organischen Chlorverbindungen (Liste I, lfd. Nr. 1).

Die Genauigkeit der Massenangaben mit 5 Stellen nach dem Komma in Tabelle 7-7 dienen vornehmlich der Qualitätskontrolle und der Vergleichbarkeit der Angaben in den Anhängen. Die Bandbreite des Inventars mit seinen Materialien, Komponenten und Elementen wird in Kap. 8 dargestellt.

Tabelle 7-7: Massenanteile der grundwassergefährdenden Stoffe

ASSE-INVENTAR GRUNDWASSER- GEFÄHRDENDE STOFFE	KOMPONENTE	PARAMETER	MASSE PARAMETER [kg]
Liste I, lfd. Nr. 1			
Organische Halogenverbindungen und Stoffe, die im Wasser derartige Verbindungen bilden können			
Org. Bromverbindungen	Org. Bromverbindungen	Br	0,00000
Org. Chlorverbindungen	DICHLORMETHAN CH ₂ CL ₂	Cl	735,36349
	DODECYL.DIM.B.AM.CL	Cl	0,67796
	NEOPREN [C ₄ H ₅ CL]	Cl	13.642,17075
	PUR	Cl	1.269,08261
	PVC	Cl	171.051,89105
	TRICHLORETHAN	Cl	215,26216
	Summe		186.914,44802
Org. Jodverbindungen	TIERKOERPER TS	I	5,38E-05

ASSE-INVENTAR GRUNDWASSER- GEFÄHRDENE STOFFE	KOMPONENTE	PARAMETER	MASSE PARAMETER [kg]
Liste I, lfd. Nr. 2 Organische Phosphorverbindungen			
	DIBUTYLPHOSPHAT	PO4	51,26804
	HEDP-NA	PO4	324,58601
	MONOBUTYLPHOSPHAT	PO4	69,93406
	MONOSTEARYLPHOSPHAT	PO4	404,75961
	TRIBUTYLPHOSPHAT	PO4	2.566,16581
	Summe		3.416,71354
Liste I, lfd. Nr. 3 Organische Zinnverbindungen			
	Org. Zinnverbindungen	Sn	0,00000
Liste I, lfd. Nr. 4 Stoffe, die im oder durch Wasser krebserregende, mutagene oder teratogene Wirkung haben [16, 17, 18, 19, 20, 21]			
	DIBUTYLPHOSPHAT	→	113,47572
	TOLUOL (C6H5CH3)	→	880,83386
	TRIBUTYLPHOSPHAT	→	7.195,91924
	XYLOL	→	433,37026
	AG	→	437,96334
	AS	→	496,39074
	AU	→	2,69E-05
	B	→	49.984,39523
	BA	→	54.329,13586
	BE	→	11,40454
	CD	→	54,32567
	CO	→	4.103,94475
	CR	→	25.756,03528
	CS	→	195,32310
	CU	→	856.808,77571
	FE	→	24.305.309,17711
	HG	→	1,12019
	LI	→	2.886,96202
	MN	→	72.194,96286
	MO	→	887,60276
	NI	→	22.214,06799
	PB	→	14.771,84964
	RB	→	3.580,92455
	SB	→	1.371,85914
	SE	→	2,44791
	SR	→	40.726,58419
	TE	→	1,62769
	TL	→	3,26707
	V	→	1.039,96897
	ZN	→	232.293,36893
	Summe	→	25.698.087,08434
Liste I, lfd. Nr. 5 Quecksilber und Quecksilberverbindungen			
	PORTLANDZEMENTSTEIN	Hg	0,51279
	PORTL.ZEMENTMOERTEL	Hg	0,20200
	NORMALBETON	Hg	0,19835
	KUNSTSTOFFE	Hg	0,07705

ASSE-INVENTAR GRUNDWASSER- GEFÄHRDENDE STOFFE	KOMPONENTE	PARAMETER	MASSE PARAMETER [kg]
	PVC (WEICH)	Hg	0,06456
	HAEMATITBETON	Hg	0,05744
	PZ-OELSCHIEFERSTEIN	Hg	0,00720
	CHEMIEGIPS TS	Hg	0,00069
	SALZKONZENTRAT TS	Hg	0,00010
	Summe		1,12019
Liste I, lfd. Nr. 6			
Cadmium und Cadmiumverbindungen			
	VDK I SALZ TS	Cd	17,16056
	ZINK	Cd	15,73211
	VDK KFA SALZ TS	Cd	6,42051
	PULVERHARZ TS	Cd	4,37218
	PORTLANDZEMENTSTEIN	Cd	3,41862
	VDK F SALZ TS	Cd	1,43295
	PORTL.ZEMENTMOERTEL	Cd	1,34666
	NORMALBETON	Cd	1,32235
	KUGELHARZ TS	Cd	0,84748
	VDK U SALZ TS	Cd	0,73848
	HAEMATITBETON	Cd	0,38293
	SALZE KFA TS	Cd	0,34249
	KUNSTSTOFFE	Cd	0,33499
	PVC (WEICH)	Cd	0,28070
	BITUMEN	Cd	0,06092
	SALZKONZENTRAT TS	Cd	0,05722
	PZ-OELSCHIEFERSTEIN	Cd	0,05189
	ZIRCALOY 2	Cd	0,01791
	CHEMIEGIPS TS	Cd	0,00415
	TORF TS	Cd	0,00039
	TIERKOERPER TS	Cd	0,00019
	Summe		54,32567
Liste I, lfd. Nr. 7			
Mineralöle und Kohlenwasserstoffe [13]			
	OEL (C10H22)	→	52.577,70629
	PARAFFIN	→	1.951,18759
	Summe		54.528,89389
Liste I, lfd. Nr. 8			
Cyanide			
	FE4[FE(CN)6]3	→	1.049,41554
Liste II, lfd. Nr. 1			
Metalle, Metalloide und ihre Verbindungen			
	AG	→	437,96334
	AS	→	496,39074
	B	→	49.984,39523
	BA	→	54.329,13586
	BE	→	11,40454
	CO	→	4.103,94475
	CR	→	25.756,03528
	CU	→	856.808,77571
	MO	→	887,60276
	NI	→	22.214,06799
	PB	→	14.771,84964

ASSE-INVENTAR GRUNDWASSER- GEFÄHRDENDE STOFFE	KOMPONENTE	PARAMETER	MASSE PARAMETER [kg]
	SB	→	1.371,85914
	SE	→	2,44791
	SN	→	9.828,69205
	TE	→	1,62769
	TI	→	37.761,01699
	TL	→	3,26707
	U	→	67,05166
	V	→	1.039,96897
	ZN	→	232.293,36893
	Summe		1.312.170,86625
Liste II, lfd. Nr. 2			
Biozide			
	PHB-METHYLESTER	→	116,96732
Liste II, lfd. Nr. 3			
Stoffe, die den Geschmack oder Geruch von Wasser beeinträchtigen [16, 22]			
	OEL (C10H22)	→	52.577,70629
	DODECAN C12H26	→	15.776,76952
	CACO3	CO3	512.522,33816
	MGCO3	CO3	99,25914
	BASO4	SO4	17.243,61818
	CASO4	SO4	535.925,60848
	NA2SO4	SO4	56.300,59251
	SULFAMINSAEURE	SO4	4,97177
	SO4	→	7.113,61437
	SO3	SO4	1.227,60365
	AL	→	1.766.293,79815
	CA	→	7.825.393,39092
	CL	→	223.578,70590
	CU	→	856.808,77571
	FE	→	24.305.309,17711
	K	→	484.470,90500
	MG	→	154.487,56102
	MN	→	72.194,96286
	NA	→	955.545,77523
	ZN	→	232.293,36893
	Summe		38.075.168,50289
Liste II, lfd. Nr. 4			
Giftige oder langlebige organische Siliziumverbindungen			
	POLYDIMETHYLSILOXANE	→	2.162,00936
	SI-KAUTSCHUK	→	59.344,49864
	Summe		61.506,50800
Liste II, lfd. Nr. 5			
Anorganische Phosphorverbindungen			
	ALPO4	PO4	101,06890
	CA10(PO4)6(OH)2	PO4	336,42499
	CA3(PO4)2	PO4	5,13849
	CRPO4	PO4	362,25317
	FEPO4	PO4	7.456,68227
	K4P2O7	PO4	48,12730
	NA-HEXAMETAPHOSPHAT	PO4	483,89972
	NA-PYROPHOSPHAT	PO4	1.855,64847

ASSE-INVENTAR GRUNDWASSER- GEFÄHRDENE STOFFE	KOMPONENTE	PARAMETER	MASSE PARAMETER [kg]
	NA2HPO4	PO4	14.340,65667
	NA5-TRIPOLYPHOSPHAT	PO4	9.967,35259
	PO4	PO4	6.297,21124
	P2O5	PO4	21.970,36356
	ZN3(PO4)2	PO4	1.444,50060
	Summe		64.669,32797
Liste II, lfd. Nr. 6			
Organischen und anorganische Fluorverbindungen			
	CAF2	F	892,11327
	CHEMIEGIPS TS	F	19,38762
	HAEMATITBETON	F	670,12297
	NAF	F	1.232,25571
	NORMALBETON	F	2.314,12092
	PORTL.ZEMENTMOERTEL	F	2.356,65639
	PORTLANDZEMENTSTEIN	F	5.982,58488
	PZ-OELSCHIEFERSTEIN	F	70,36176
	SALZE KFA TS	F	17,99404
	SALZKONZENTRAT TS	F	944,34274
	TIERKOERPER TS	F	0,00996
	VDK F SALZ TS	F	75,28535
	VDK I SALZ TS	F	901,59509
	VDK KFA SALZ TS	F	337,32579
	VDK U SALZ TS	F	38,79872
	VERMICULIT TS	F	2,75471
	PTFE	F	4.778,92180
	PVC (GRANULAT)	F	61,61426
	Summe		20.696,24598
Liste II, lfd. Nr. 7			
Ammoniak, Ammoniakverbindungen und Nitrite			
Ammoniak und Ammoniak- verbindungen	NH4	NH4	36.348,82294
	NH4CL	NH4	557,20372
	-N(CH3)3	NH4	4.025,46878
	(NH4)2HC6H5O7	NH4	47,26030
	FE(NH4)-EDTA	NH4	2,30588
	Summe		40.981,06163
Nitrite	SALZKONZENTRAT TS	NO2	8.159,88555

7.4 Massen der chemotoxischen Stoffe

Neben den in der Liste I und II GWVO genannten Stofffamilien und Stoffgruppen können aus den im ANHANG A.1 genannten Unterlagen chemotoxische Stoffe quantifiziert werden, die ebenfalls für die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen herangezogen werden (siehe Kap. 5.2).

Die Genauigkeit der Massenangaben mit 5 Stellen nach dem Komma in den Tabellen 7-8 und 7-9 dienen vornehmlich der Qualitätskontrolle und der Vergleichbarkeit der Angaben in den Anhängen. Die Bandbreite des Inventars mit seinen Materialien, Komponenten und Elementen wird in Kap. 8 dargestellt.

7.4.1 Massen der organisch chemotoxischen Stoffe

Von den neun Verbindungsklassen der Liste organisch chemotoxischer Stoffe können nur Stoffe aus den Verbindungsklassen 7 und 8 zugeordnet werden (Tabelle 7-8); ihre Massen können ANHANG B.3 (Komponenteninventar) entnommen werden. Die Stoffe der übrigen Klassen befinden sich nicht im Abfallinventar der Schachtanlage Asse.

Zu den organisch chemotoxischen Stoffen im Inventar der Schachtanlage Asse zählen der Chelatbildner EDTA und die Komplexbildner Citronensäure, Weinsäure, Oxalsäure und ihre jeweiligen Natrium-, Kalium-, Calcium-, Magnesium- und Eisen-Salze. Na₃-Citrat (Na₃C₆H₅O₇), Na₂-Tartrat (Na₂C₄H₄O₆) und Na₂-Oxalat (Na₂C₂O₄) befinden sich wie das EDTA hauptsächlich in den VDK des Forschungszentrums Karlsruhe. Na₂-EDTA aus Fällschlämmen, K₃-Citrat (K₃C₆H₅O₇) hauptsächlich aus Filterhilfsmitteln und Filterrückständen, Na₂-Hydrogencitrat aus VDK von DWR und (NH₄)₂-Hydrogencitrat ((NH₄)₂HC₆H₅O₇) aus einer Mischung von Salzen, Pulver- und Kugelharzen gehören ebenfalls zur Verbindungsklasse der Chelate-Komplexbildner.

Zur Verbindungsklasse der Tenside gehören anionische Tenside aus Schlämmen und VDK der DWR und nichtionische Tenside (einschließlich Marlophen und Marlox), die hauptsächlich in Schlämmen und VDK des Forschungszentrums Karlsruhe und aus DWR stammen sowie kationische Tenside (Benzalkoniumchlorid) aus Fällschlämmen.

Tabelle 7-8: Massenanteile organisch chemotoxischer Stoffe

ASSE-INVENTAR ORGANISCH CHEMOTOXISCHE STOFFE	MASSE IM ASSE-INVENTAR [kg]	VERBINDUNGSKLASSE GEMÄSS ANHANG A.1
Chelat- / Komplexbildner:		7
Fe(NH ₄)-EDTA	46,28694	
Na ₂ -EDTA	0,08593	
Na ₃ -Citrat	13.808,02213	
K ₃ -Citrat	113,42847	
Na ₂ -Hydrogencitrat	324,77419	
(NH ₄) ₂ -Hydrogencitrat	296,29831	
Na ₂ -Tartrat	13.287,55949	
Na ₂ -Oxalat	13.521,68556	
Tenside:		8
Nichtionische Tenside (NIT)	17.264,16160	
Anionische Tenside (ANT)	6.121,76102	
Kationische Tenside (KAT)	6,50156	
(hier: Benzalkoniumchlorid)		

7.4.2 Massen der anorganisch chemotoxischen Stoffe

Von den im Inventar der Schachanlage Asse vorkommenden anorganischen chemotoxischen Stoffen entfallen die meisten auf die in Liste II Punkt 1 der GWVO genannten Metalloide, Metalle und ihre Verbindungen. Unabhängig davon werden alle anorganisch chemotoxischen Stoffe die sich im Abfallinventar der Schachanlage Asse befinden in der Tabelle 7-9 aufgeführt.

Von den im Inventar der Schachanlage Asse vorkommenden anorganischen chemotoxischen Stoffen entfallen die größten Massenanteile auf Kupfer (ca. 857 Mg - vor allem aus nicht näher spezifizierten NE-Metallen und Altkabeln) und Zink (ca. 232 Mg - vor allem aus nicht näher spezifizierten NE-Metallen und der Verzinkung der Behälter). Barium (ca. 54 Mg) liegt hauptsächlich als Bariumsulfat in zementhaltigen Materialien vor. Die eingelagerten VDK aus DWR mit hohen Anteilen an Borsäure/Borate liefern den Hauptanteil des Bor (ca. 50 Mg). Ca. 38 Mg Titan wurden als Abfallbestandteil selbst, als Nebenbestandteil (TiO_2) von Asche und Mineralwolle sowie als Spurenelement der zementhaltigen Materialien berücksichtigt. Chrom-gesamt (ca. 26 Mg) liegt hauptsächlich in FE-Metallen/Stahl vor und wird auch als Spurenelement der zementhaltigen Materialien berücksichtigt. Aus Stahl, NE-Metallen, Harzen und als Spurenelement der zementhaltigen Materialien errechnen sich ca. 22 Mg Nickel. Blei (ca. 15 Mg) wurden als Abfallbestandteil selbst, als Abschirmmaterial, aus nicht näher spezifizierten NE-Metallen sowie als Spurenelemente zementhaltiger Materialien berücksichtigt.

Uran wird als chemotoxischer anorganischer Stoff hier nur als Spurenelement in zementhaltigen Fixierungsmitteln und Abfällen sowie in den Abfallbehältern aus Beton mit insgesamt ca. 67 kg berücksichtigt. Ebenfalls nur als Spurenelement wird Thorium in zementhaltigen Materialien mit insgesamt ca. 223 kg bilanziert (Kapitel 7.5). Beiträge von Uran- und Thorium-Massen als primäre Bestandteile radioaktiver Abfälle sind hier nicht berücksichtigt.

Tabelle 7-9: Massenanteile anorganisch chemotoxische Stoffe

ASSE-INVENTAR ANORGANISCH CHEMOTOXISCHE STOFFE	KUMULIERTE MASSE IM ASSE-INVENTAR [kg]
Ag	437,96334
As	496,39074
B	49.984,39523
Ba	54.329,13586
Be	11,40454
Bi	336,85514
Cd	54,32567
Cyanide Gesamt	1.049,41554 (CN-Anteil: 571,97319)
Co	4.103,94475
Cr Gesamt	25.756,03528
Cr (VI)	20,83446
Cu	856.808,77571
Hg	1,12019
Mo	887,60276
Ni	22.214,06799
Pb	14.771,84964
Sb	1.371,85914
Se	2,44791
Sn	9.828,69205
Te	1,62769
Ti	37.761,01699
Tl	3,26707
U	67,05166 (als Spurenelementanteile U)
V	1.039,96897
Zn	232.293,36893

7.5 Massen der Spurenelemente Uran- und Thorium

Uran und Thorium kommen als Spurenelemente der zementhaltigen Materialien (Normalbeton, PZ-Stein, Hämatitbeton, PZ-Mörtel, PZ-Ölschieferstein) im Abfall, Abfallbehälter und Fixierungsmittel vor. Dieser Anteil beziffert sich auf ca. 67 kg Uran (siehe Tabelle 7-7) und ca. 223 kg Thorium.

8 Bandbreite des Abfallinventars

Die Abschätzungen zu den eingelagerten Materialmengen von Abfall, Abfallbehältern und Fixierungsmitteln besitzen Bandbreiten, die vom verfügbaren und nachrecherchierbaren Datenbestand abhängen. Die Bewertung der Qualität dieser Daten erfolgte stets auf der Grundlage der Vollständigkeit, Konsistenz und Belastbarkeit. Den Stoffgruppen und Stoffuntergruppen wurden deshalb je nach Genauigkeit der vorgelegenen Daten Bandbreiten zugeordnet, die als Richtgröße anzusehen sind [3].

Am genauesten waren die Materialien der Abfallbehälter zu bewerten, da hierzu umfangreiche Unterlagen (DIN-Normen, Konstruktionszeichnungen u. ä.) vorlagen. Zu den Fixierungsmitteln lagen zum großen Teil ebenfalls recht genaue Beschreibungen zur Zusammensetzung vor, wobei hier größere Schwankungen z. B. durch die Verwendung von Zementmörtelmischungen unterschiedlicher Zusammensetzungen auftraten. Die Materialien der Abfälle selbst sind nur zum Teil mengenmäßig relativ genau benannt worden. Bei einem großen Teil der Gebinde lagen jedoch nur pauschale Angaben vor, wie z. B. Mischabfälle, Laborabfälle, Bauschutt usw., ohne dass die Zusammensetzung näher dargelegt worden ist. Zudem war seinerzeit die Angabe von Abfallgebidemassen nach LAW- und MAW-Bedingungen nicht verlangt worden, so dass diese für genauere Abschätzungen ebenfalls nur teilweise zur Verfügung stehen.

Aus den v. g. Gründen konnten folgende Bandbreiten den Materialien der eingelagerten Abfallgebinde zugeordnet werden:

- ± 10 % bei genau festlegbaren Daten,
- ± 30 % bei relativ genauen Angaben, aber nur pauschal bestimmbar
Zusammensetzungen,
- ± 50 % bei ungenauen Angaben, zu denen Annahmen auf Grundlage von
Plausibilitätsbetrachtungen getroffen wurden.

Die Bandbreiten in den Eingangsdaten wurden abhängig von der Abfallart (Stoffgruppe), von vorhandenen Unterlagen zu Abfallzusammensetzungen, von Angaben der Ablieferer auf den Einlagerungsdokumenten und auch auf der Grundlage von Recherchen und Befragungen von der Fa. Stoller [3] festgelegt. Für die Materialien der Abfallbehälter wurden den einzelnen Stoffuntergruppen Bandbreiten zugeordnet; die Zuordnung der Bandbreiten erfolgte für die Fixierungsmittel über die Stoffgruppen und für die Abfälle über die in den Stoffgruppen enthaltenen Materialien.

Da die stoffliche Zusammensetzung der Materialien der Abfallgebinde sehr unterschiedlich sein kann und die Anzahl der eingelagerten Abfallgebinde hinreichend hoch ist, können die v. g. Bandbreiten hinsichtlich des Gesamtinventars als zufällig und normalverteilt betrachtet werden. Bei Anwendung der Fehlerfortpflanzung lassen sich aus den festgelegten Bandbreiten von Abfall, Abfallbehälter und Fixierungsmittel der einzelnen Abfallgebinde für die Materialien und damit für das Gesamtinventar resultierende Bandbreiten berechnen. Die berechneten Bandbreiten sind kleiner als die v. g. Bandbreiten der einzelnen Abfallgebinde. Nachfolgend werden für die zementhaltigen Materialien (64,4 Ma.-%), FE-Metalle/Stahl

(21,5 Ma.-%) und die zellulosehaltige Materialien (5,4 Ma.-%), die zusammen einen Anteil von über 90 Ma.-% am Gesamtinventar besitzen, die resultierenden Bandbreiten mittels der Fehlerfortpflanzung ermittelt.

Zementhaltige Materialien setzen sich aus Hämatitbeton, Normalbeton, PZ-Mörtel, PZ-Stein und PZ-Ölschieferstein zusammen. Hämatit- und Normalbeton der Abfallbehälter sowie PZ-Stein (Abfallbehälter, Fixierungsmittel) werden Bandbreiten von $\pm 10 \%$ zugeordnet, da umfangreiche Unterlagen mit genauen Angaben bzw. eindeutigen Zusammensetzungen vorliegen. Den zementhaltigen Materialien der Abfälle (Hämatit- und Normalbeton, PZ-Stein) und der Fixierungsmittel (PZ-Mörtel, PZ-Ölschieferstein) werden Bandbreiten von $\pm 30 \%$ zugeordnet, da es sich hierbei um pauschal bestimmte Zusammensetzungen handelt. Hieraus berechnet sich für alle zementhaltigen Materialien eine mittlere Bandbreite von $\pm 6 \%$. Der reine Zementanteil dieser Materialien liegt zwischen ca. 9 Ma.-% bei Hämatitbeton und ca. 71 Ma.-% bei PZ-Stein und beträgt insgesamt 16.281 Mg. Unter Berücksichtigung der v. g. Bandbreiten errechnet sich auch für den Zement eine mittlere Bandbreite von $\pm 8 \%$.

Metalle der Abfallbehälter (Metallverpackungen, Armierungsstahl, Stahl-Abschirmungen) werden Bandbreiten von $\pm 10 \%$ zugeordnet, da genaue Angaben (z. B. DIN-Normen) vorliegen. Den FE-Metallen der Abfälle werden Bandbreiten von $\pm 50 \%$ zugeordnet, da zur Zusammensetzung der Abfälle nur pauschale Angaben vorliegen. Die Stahlanteile in den Abfällen werden Bandbreiten von $\pm 30 \%$ zugeordnet, da recht genaue Beschreibungen zur Zusammensetzung vorlagen. Hieraus berechnet sich für alle Metalle eine mittlere Bandbreite von $\pm 33 \%$.

Die zellulosehaltigen Materialien setzen sich aus Zellulose, Papier, Holz, Baumwolle, Zellstoff und pflanzliche Abfälle zusammen. Den einzelnen zellulosehaltigen Materialien werden Bandbreiten von $\pm 30 \%$ zugeordnet, da recht genaue Beschreibungen zur Zusammensetzung vorlagen. Hieraus berechnet sich für alle zellulosehaltigen Materialien eine mittlere Bandbreite von $\pm 21 \%$.

Diese orientierenden Fehlerfortpflanzungsrechnungen zeigen, dass für über 90 Ma.-% des Gesamtinventars die Bandbreite der Materialien zwischen $\pm 6 \%$ und $\pm 33 \%$ liegt. Die restlichen Materialien, die einen Massenanteil von weniger als 10 % am Gesamtinventar besitzen, werden, da sie den gleichen statistischen Schwankungen unterliegen, nicht wesentlich von den vorgenannten Bandbreiten verschieden sein.

Auf der Basis des Zwiebschalenprinzips wurde die Ermittlung des gesamten Abfallinventars nach Materialien, Komponenten und Elementen durchgeführt. Während bei den Bandbreiten der Materialien aufgrund ihrer unterschiedlichen Komponenten größere Schwankungen auftreten können, variieren die Bandbreiten der einzelnen Komponenten nur sehr gering.

Bei Normzementen (z. B. Portlandzement) weisen die Hauptbestandteile CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ Bandbreiten von minimal 1,5 % bis maximal 3 % vom Mittelwert auf [23, 24]. Das Gleiche gilt für die Bandbreiten der Baustähle (niedrig legierte Stähle) und der nichtrostenden Stähle mit den Legierungselementen Cr, Ni, Mo, Ti, Nb. Hingegen folgen die Bandbreiten der Spurenelemente im Zement, im Baustahl und den nichtrostenden Stählen

einer Gauss-Verteilung (Normalverteilung). Dies ist anhand des Chrom- und Chromatgehaltes im Portlandzement, Eisenportlandzement und Hochofenzement in [25] gezeigt. Industrieprodukte, die aus den Rohstoffen der Erdkruste erzeugt werden, weisen Elemente fast des ganzen periodischen Systems als Spurenbestandteile auf. Daher ist eine Gauss-Verteilung dieser Spurenelemente ganz natürlich. Bei der Akkumulation über viele gleichartige Abfallgebinde mitteln sich die Abweichungen statistisch aus.

Werden die v. g. Überlegungen über die Bandbreite mit in die Fehlerfortpflanzung einbezogen, so ist dieser Beitrag vernachlässigbar klein im Vergleich zu den berechneten Bandbreiten der Materialien. Aus diesem Grunde kann die max. Bandbreite der Eingangsdaten von $\pm 50\%$ für die Materialien, Komponenten und Elemente im Gesamtinventar nicht überschritten werden.

Exemplar für BMBF und BMBW

9 Abfallinventar an chemisch und chemotoxischen Stoffen für die Einhaltung der GWVO

Auf Basis einer ACCESS-Datenbank mit Informationen über die eingelagerten Abfälle wurden die Massen der Materialien der Abfallgebände abgeschätzt. Aus diesen Ergebnissen erfolgte die Ermittlung der Massen der chemischen Komponenten und Elemente. Der gewählte Ansatz führt zu einem bestmöglichen realistischen Abfallinventar.

Die Ergebnisse der Materialien der Abfallgebände sind die Grundlage für weiterführende Rechnungen, beispielsweise für geochemische Modellrechnungen und die Ermittlung des Gasquellterms der Materialien der Abfallgebände.

Mit der Differenzierung der Materialien in Komponenten (Verbindungen) und Elemente war die qualitative und quantitative Identifikation der grundwassergefährdenden Stoffe sowie weiterer chemotoxischer Stoffe möglich. Die entsprechenden Ergebnisse werden für die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen herangezogen.

Die Abschätzung zu den eingelagerten Materialmengen besitzen Bandbreiten, die vom verfügbaren und nachrecherchierbaren Datenbestand abhängen. Die Bewertung der Qualität dieser Daten erfolgte stets auf der Grundlage der Vollständigkeit, Konsistenz und Belastbarkeit. Den Materialien wurden deshalb je nach Genauigkeit der vorgelegenen Daten Bandbreiten zugeordnet, die hinsichtlich des Gesamtinventars als zufällig und normalverteilt betrachtet werden. Während bei den Bandbreiten der Materialien aufgrund der unterschiedlichen Komponenten größere Schwankungen auftreten können, variieren die Bandbreiten der einzelnen Komponenten nur sehr gering. Bei der Akkumulation über viele gleichartige Abfallgebände mitteln sich jedoch die Abweichungen aus.

Bei Anwendung der Fehlerfortpflanzung lassen sich aus den festgelegten Bandbreiten von Abfall, Abfallbehälter und Fixierungsmittel der einzelnen Abfallgebände für die Materialien und damit für das Gesamtinventar resultierende Bandbreiten berechnen. Die berechneten Bandbreiten sind kleiner als die v. g. Bandbreiten der einzelnen Abfallgebände. Der Beitrag der Bandbreiten einzelner Komponenten ist vernachlässigbar klein im Vergleich zu den berechneten Bandbreiten der Materialien. Aus den Erkenntnissen der Bandbreitenbetrachtungen kann daher abgeleitet werden, dass sich das bestmöglich abgeschätzte Abfallinventar mit seinen Materialien, Komponenten und Elementen max. um 50 % erhöhen kann. Für die Prüfung des Abfallinventars der Schachanlage Asse auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen ist somit das bestmögliche realistische Abfallinventar unter Beachtung einer max. Bandbreite von 50 % zu verwenden.

10 Quellenverzeichnis

- [1] Gerstmann, M.; Meyer, H.; Tholen, M.:
Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachanlage Asse
GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Abschlussbericht, August 2002
- [2] Hoff, M.; Meyer, H.; Tholen, M.:
Erstellung einer Datenbank zur Aktualisierung des Radionuklidinventars im
Forschungsbergwerk Asse,
GSF mbH, Forschungsbergwerk Asse, Interner Bericht Nr. 1/2000
- [3] Herzog, C.; Schneider, L.:
Bestimmung der stofflichen Hauptbestandteile der in die Schachanlage Asse
eingelagerten Abfälle
Stoller Ingenieurtechnik GmbH, Abschlussbericht, 01.11.2001
- [4] Buchheim, B.:
Inventar chemischer und chemotoxischer Stoffe von radioaktiven Abfällen in der
Schachanlage Asse
Buchheim Engineering, Abschlussbericht, Dezember 2002
- [5] Bedingungen für die Lagerung von schwachradioaktiven Abfallstoffen in der
Schachanlage Asse,
GSF mbH, Juli 1971
- [6] Bedingungen für die Lagerung von schwachradioaktiven Abfällen in der Schachanlage
Asse, GSF mbH, Dezember 1975
- [7] Vorläufige Bedingungen für die Versuchseinlagerung mittelradioaktiver Abfallstoffe in
der Schachanlage Asse, GSF mbH, September 1972
- [8] „Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 80/68/EWG des Rates vom 17. Dezember
1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte
gefährliche Stoffe (Grundwasserverordnung) vom 18. März 1997“
Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1997, Teil I, Nr. 18, S. 542-544
- [9] „Bekanntmachung der Neufassung der Trinkwasserverordnung vom 5. Dezember 1990“,
Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1990, Teil I, Nr. 66, S. 2612-2629
- [10] „Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001“,
Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2001, Teil I, Nr. 24, S. 959-980
- [11] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA):
„Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von
Grundwasserschäden“, Stand: Oktober 1993
- [12] LAWA-Arbeitsgruppe ‘Grundwasserschutz bei Abfallverwertung und Produkteinsatz’
„Aktualisierte Prüfwerte der LAWA-Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und
Behandlung von Grundwasserschäden“, Stand: 02. Dezember 1996

- [13] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA):
„Geringfügigkeitsschwellen (Prüfwerte) zur Beurteilung von Grundwasserschäden und ihre Begründung“, Stand: 21. Dezember 1998
- [14] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.:
„Eignung von Fließgewässern für die Trinkwasserversorgung“
DVGW-Regelwerk, Technische Mitteilung, Merkblatt W 251, Stand: August 1996
- [15] U.S. Environmental Protection Agency:
„Drinking Water Regulations and Health Advisories“
Report EPA 822-B-96-002, October 1996
- [16] World Health Organization (WHO):
„Guidelines for Drinking-Water Quality“, 2nd Edition, Volume 1 (1983 + 1993/96) and Addendum to Volume 1, Recommendations (1998)
- [17] RÖMPP Lexikon Chemie:
9. erweiterte und neubearbeitete Auflage, Verlag Thieme, Stuttgart/New York (1991)
- [18] E. Merian (Hrsg.):
„Metalle in der Umwelt – Verteilung, Analytik und biologische Relevanz“, Verlag Chemie, Weinheim/Deerfield Beach/Basel (1984); darin enthalten
E. Gebhart, „Mutagenität, Karzinogenität, Teratogenität“, S. 237 – 247
- [19] H. G. Seiler; H. Sigel:
„Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds“, (1988), Verlag Marcel Dekker Inc., New York/Basel
- [20] R. Koch:
„Umweltchemikalien Physikalisch-chemische Daten, Toxizitäten, Grenz- und Richtwerte, Umweltverhalten“, 3. Auflage, Verlag Chemie, Weinheim/New York (1995)
- [21] Beratergremium für Umweltrelevante Altstoffe (BUA) der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh); BUA-Stoffbericht Nr. 108: „Tributylphosphat/Dibutylphosphat“ (Stand: Dezember 1992); Verlag S. Hirzel, Stuttgart
- [22] K. Höll; Hrsg. A. Grohmann:
„Wasser – Nutzung im Kreislauf, Hygiene, Analyse und Bewertung“, 8. Auflage, Verlag Walter de Gruyter, Berlin/New York (2002)
- [23] F. W. Locher:
„Zement“ in Ullmann’s Encyclopädie der technischen Chemie, 4. neubearbeitete und erweiterte Auflage, Band 24, S. 545-547
- [24] Verein Deutscher Zementwerke; Forschungsinstitut der Zementindustrie:
Tätigkeitsbericht 1990-93. Düsseldorf: Verein Deutscher Zementwerke e.V.
- [25] H. Pisters (Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf):
„Chrom im Zement und Chromatekzem“
Zement-Kalk-Gips, Heft 10, Oktober 1966, S. 467-472

ANHANG A

A.1 Grundlagen zur Erstellung der Liste von chemotoxischen Stoffen

Aufgenommen in die Liste chemotoxischer Stoffe wurden solche Stoffe, welche gleichzeitig

- persistent und hochtoxisch für den Menschen oder für andere lebende Organismen und
- kanzerogen bzw. teratogen

sind und für die aufgrund dieser Eigenschaften in der Vergangenheit bereits Vorschriften erlassen worden sind.

Als Grundlage zur Erstellung der Liste dienten folgende Unterlagen:

- Liste des "International Register of Potentially Toxic Chemicals" (IRPTC) über „Products whose consumption and/ or sale have been banned, withdrawn, severely restricted or not approved by governments“
- Arbeitsliste des "International Program on Chemical Safety" (IPCS)
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) „Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden“ Stand: Oktober 1993“
- LAWA-Arbeitsgruppe 'Grundwasserschutz bei Abfallverwertung und Produkteinsatz' „Aktualisierte Prüfwerte der LAWA-Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden“ Stand: 02. Dezember 1996“
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) „Geringfügigkeitsschwellen (Prüfwerte) zur Beurteilung von Grundwasserschäden und ihre Begründung“ Stand: 21. Dezember 1998“
- Eignung von Oberflächenwasser als Rohstoff für die Trinkwasserversorgung DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W 151, Juli 1975
- Eignung von Fließgewässern für die Trinkwasserversorgung DVGW-Regelwerk, Technische Mitteilung, Merkblatt W 251, Stand August 1996
- Übereinkommen über die Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Versenken von Abfällen und anderen Stoffen
- Klärschlammverordnung vom 25. Juni 1982, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1982, Teil I, S. 734-736
- Liste der kanzerogenen Stoffe der "International Agency for Research on Cancer" (IARC)
- Erklärung der Minister der dritten internationalen Nordseeschutz-Konferenz, Den Haag, 8. März 1990
- Bekanntmachung der Neufassung der Trinkwasserverordnung vom 5. Dezember 1990, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1990, Teil I, Nr. 66, S. 2612-2629
- Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2001, Teil I, Nr. 24, S. 959-980
- World Health Organization „Guidelines for Drinking-Water Quality, Vol. 1: Recommendations“ WHO-Publications, Geneva (1984 + 1993)
- Einschlägige Literatur zur Ökologie

A.2 Organische chemotoxische Stoffe Verbindungsklassen, Verbindungen und typische Klassenvertreter

Liste bekannter chemotoxischer organischer Stoffe in neun Verbindungsklassen:

Klasse 1 ALICYCLISCHE UND ALIPHATISCHE VERBINDUNGEN

γ -Hexachlorcyclohexan (Lindan)
Aldrin
Chlordan
Dieldrin
Endrin
Heptachlor
Heptachlor-Epoxid
Telodrin
Stroban
Toxaphen
Mirex
Kelevan
Kepone
Halogenierte Kohlenwasserstoffe (Paraffine)

Klasse 2 HALOGENIERTE BENZOLE UND PHENYLDERIVATE

Hexachlorbenzol
Chlorierte Benzole
Polychlorierte Biphenyle (PCB's)
Andere halogenierte Biphenyle
Halogenierte Terphenyle

Klasse 3 HALOGENIERTE DERIVATE VON DIPHENYLMETHAN

DDT
seine Abbauprodukte DDE und DDD
Methoxychlor
Dicofol
Perthane

Klasse 4 ANELLIERTE AROMATEN

Halogenierte Naphthaline
Polykondensierte aromatische Kohlenwasserstoffe
(PAK's mit 4 und mehr Ringen)

Klasse 5 HALOGENIERTE PHENOLE UND PHENOXYVERBINDUNGEN

Pentachlorphenol
Tetrachlorphenol
Trichlorphenol
Halogenierte Diphenylether

Klasse 6 HETEROCYCLISCHE VERBINDUNGEN

Halogenierte Dibenzodioxine (TCDD)
Halogenierte Dibenzofurane (TCDF)

Klasse 7 KOMPLEXBILDNER

EDTA
NTA
Citronensäure
Oxalsäure
Weinsäure
Harnstoff

Klasse 8 TENSIDE

Fettaminethoxylat (C₁₆ - C₁₈, Oelsäuretyp); (nichtionische Tenside)
Fettalkoholethoxylat (C₁₆ - C₁₈, Oelsäuretyp)
Alkylsulfonat; (anionisches Tensid)
Alkylphenolpolyglykolether
Diethylenglykolmonobutylether
Ethylendiaminpropylenoxid (Blockpolymerisat)
Quaternäre Ammoniumverbindungen; (kationische Tenside)

Klasse 9 HALOGENIERTE TRIAZINE

Atrazin
Simazin

**A.3 Anorganische chemotoxische Stoffe Metalle, Metallverbindungen
und Nichtmetalle**

Antimon und Antimonverbindungen
Arsen und Arsenverbindungen
Barium und Bariumverbindungen
Beryllium und Berylliumverbindungen
Bismut und Bismutverbindungen
Blei und Bleiverbindungen
Bor und Borverbindungen
Cadmium und Cadmiumverbindungen
Chrom und Chromverbindungen
Cyanide
Kobalt und Kobaltverbindungen
Kupfer und Kupferverbindungen
Molybdän und Molybdänverbindungen
Nickel und Nickelverbindungen
Plutonium und Plutoniumverbindungen
Quecksilber und Quecksilberverbindungen
Selen und Selenverbindungen
Silber und Silberverbindungen
Tellur und Tellurverbindungen
Thallium und Thalliumverbindungen
Titan und Titanverbindungen
Uran und Uranverbindungen
Vanadium und Vanadiumverbindungen
Zink und Zinkverbindungen
Zinn und Zinnverbindungen

ANHANG B DETAILLIERTE ERGEBNISTABELLEN

B.1. Gesamtinventar aus allen Stoffuntergruppen (SUG) und allen Kammern, alle Beiträge; geordnet nach Masse der Materialien [kg]

Kammer	Beitrag	Material (SUG)	Masse [kg]	Anteil
T	T	NORMALBETON	26 736 864.83508	0.300333
T	T	FE-METALLE	12 476 476.94201	0.140147
T	T	PORTLANDZEMENTSTEIN	12 065 190.65040	0.135528
T	T	HAEMATITBETON	10 635 088.69200	0.119463
T	T	PORTL. ZEMENTMOERTEL	7 766 820.64962	0.087244
T	T	STAHL MRST37-2	5 416 060.00000	0.060838
T	T	ZELLULOSE TS	2 846 960.95959	0.031980
T	T	NE-METALLE	1 068 015.43384	0.011997
T	T	KUNSTSTOFFE	1 046 835.57476	0.011759
T	T	PAPIER TS	852 390.20010	0.009575
T	T	VDK GFK/KFK SALZ TS	796 559.40570	0.008948
T	T	GERAETEGLAS	789 591.31075	0.008869
T	T	ARM. STAHL	594 600.00000	0.006679
T	T	STAHL 2	474 700.74210	0.005332
T	T	BAUMWOLLE TS	449 335.88730	0.005047
T	T	SAND/KIES/STEINE	433 289.66467	0.004867
T	T	MINERALWOLLE	321 266.04380	0.003609
T	T	KIESELGUR TS	315 882.41308	0.003548
T	T	BITUMEN	304 610.99240	0.003422
T	T	HYDRATWASSER ZELLHMA	245 394.45676	0.002757
T	T	HYDRATWASSER ZELLUL.	220 829.07457	0.002481
T	T	SALZKONZENTRAT TS	208 049.03435	0.002337
T	T	BORSAEURE/BORATE TS	178 911.62529	0.002010
T	T	PVC (WEICH)	175 438.22044	0.001971
T	T	VDK DWR SALZ TS	159 526.11683	0.001792
T	T	PZ-OELSCHIEFERSTEIN	146 411.68000	0.001645
T	T	ASCHE TS	143 427.16064	0.001611
T	T	GUMMI (VULKANISIERT)	126 884.05581	0.001425
T	T	POLYETHYLEN	119 113.76225	0.001338
T	T	GEB. WASSER VDK DWR	114 294.22847	0.001284
T	T	STAHL 1	110 915.68961	0.001246
T	T	HOLZ TS	101 164.76800	0.001136
T	T	ALUMINIUM	99 966.40218	0.001123
T	T	PULVERHARZ TS	96 187.89427	0.001080
T	T	TORF TS	78 796.08603	0.000885
T	T	ASBEST TS	76 679.05360	0.000861
T	T	ADS. WASSER	69 626.51368	0.000782
T	T	PORENWASSER PULVERHZ	63 947.12477	0.000718
T	T	GRAFIT TS	62 119.26336	0.000698
T	T	STAHL 1.4541	58 466.60040	0.000657
T	T	OEL	50 886.27582	0.000572
T	T	POLYSTYROL	48 312.00000	0.000543
T	T	AKTIVKOHLE TS	47 251.03379	0.000531
T	T	VDK SWR SALZ TS	46 320.32864	0.000520

B2

Kammer	Beitrag	Material (SUG)	Masse [kg]	Anteil
T	T	KUNSTHARZ	44 122.07200	0.000496
T	T	STAHL GGG40	41 723.00000	0.000469
T	T	CHELATE/KOMPLEXBILD.	39 908.57332	0.000448
T	T	ERDREICH	39 084.73440	0.000439
T	T	VDK I SALZ TS	36 175.95487	0.000406
T	T	ZIRCALOY 2	35 822.67000	0.000402
T	T	GEB. WASSER VDK GFK	31 934.50625	0.000359
T	T	BORATE KKS TS	31 569.94531	0.000355
T	T	KORROSIONSPRODUKTE	30 806.06215	0.000346
T	T	SALZE FHM K TS	29 129.17828	0.000327
T	T	ZELLSTOFF TS	25 489.74800	0.000286
T	T	GEB. WASSER SALZKONZ	24 492.85849	0.000275
T	T	VERMICULIT TS	24 462.65297	0.000275
T	T	HYDRATWASSER PAPIER	24 050.91692	0.000270
T	T	GEB. WASSER	23 275.82860	0.000261
T	T	TBP/KEROSIN	22 473.39939	0.000252
T	T	KUGELHARZ TS	21 187.00002	0.000238
T	T	SILIKONKAUTSCHUK	20 988.01040	0.000236
T	T	KUPFER	19 641.96379	0.000221
T	T	ADS. WASSER TORF	17 296.70181	0.000194
T	T	PORENWASSER KUGELHZ	15 133.13294	0.000170
T	T	ZINK	14 301.91800	0.000161
T	T	VDK KFA SALZ TS	13 534.99232	0.000152
T	T	BLEI	12 574.05927	0.000141
T	T	EPDM (DICHTUNG)	11 030.51800	0.000124
T	T	CHEMIEGIPS TS	10 882.58740	0.000122
T	T	BTEX/LOESUNGSMITTEL	8 808.33856	0.000099
T	T	HYDRATWASSER BAUMW.	8 714.32256	0.000098
T	T	ZIEGEL	8 014.35600	0.000090
T	T	SALZE TS	7 815.07624	0.000088
T	T	SALZKONZENTR. DWR TS	5 955.36358	0.000067
T	T	SALZE K TS	5 241.01847	0.000059
T	T	ERDE	5 183.99693	0.000058
T	T	GEB. WASSER VERMICU.	4 919.66403	0.000055
T	T	SALZKONZENTR. SWR TS	4 707.14907	0.000053
T	T	SALZE VDK GFK/KFK TS	3 974.79100	0.000045
T	T	PORENWASSER AK	3 582.70509	0.000040
T	T	SIC	3 339.36000	0.000038
T	T	VDK F SALZ TS	3 020.77880	0.000034
T	T	KRISTALLWASSER	2 856.69913	0.000032
T	T	SALZE F TS	2 817.88837	0.000032
T	T	HYDRATWASSER HOLZ	2 719.88640	0.000031
T	T	VA-STAH	2 639.39000	0.000030
T	T	GEB. WASSER SALZE	2 625.21160	0.000029
T	T	KERAMIK	2 422.47904	0.000027
T	T	VDK KWU SALZ TS	2 393.18122	0.000027
T	T	KOLLAGENE TS	2 375.15976	0.000027
T	T	STAHL 1.4571	2 170.58400	0.000024
T	T	ADS. WASSER GLAS	2 135.47600	0.000024
T	T	SCHLACKE TS	1 920.00000	0.000022
T	T	GEB. WASSER VDK SWR	1 753.77319	0.000020
T	T	TITAN	1 685.88000	0.000019
T	T	LABORABWASSER TS	1 559.82300	0.000018
T	T	VDK U SALZ TS	1 556.77500	0.000017
T	T	ADS. WASSER ASCHE	1 319.85600	0.000015
T	T	KNOCHENLEIM TS	1 035.64500	0.000012
T	T	STAHL ST 37	869.60000	9.77E-06

B3

Kammer	Beitrag	Material (SUG)	Masse [kg]	Anteil
T	T	ADS. WASSER GRAFIT	846.06400	9.50E-06
T	T	HYDRATWASSER ZELLST.	790.00800	8.87E-06
T	T	PFLANZL. ABFAELLE TS	781.50000	8.78E-06
T	T	GEB. WASSER EDTA	722.85600	8.12E-06
T	T	SALZE KFA TS	722.00000	8.11E-06
T	T	ARSENVERBINDUNGEN	720.00000	8.09E-06
T	T	CAF2	675.40480	7.59E-06
T	T	ADS. WASSER U-OXIDE	673.44000	7.56E-06
T	T	GEB. WASSER VDK I	589.86186	6.63E-06
T	T	EDTA/KOMPLEXBILDNER	560.11022	6.29E-06
T	T	ADS. WASSER ASBEST	472.56000	5.31E-06
T	T	PORENWASSER	396.82000	4.46E-06
T	T	GEB. WASSER KOLLAGEN	393.50660	4.42E-06
T	T	POLYPROPYLEN	384.00000	4.31E-06
T	T	GEB. WASSER K.LEIM	371.77000	4.18E-06
T	T	GEB. WASSER VDK KFA	361.31060	4.06E-06
T	T	KOBALT	316.80000	3.56E-06
T	T	SALZE I TS	316.31691	3.55E-06
T	T	FORMALIN	299.18694	3.36E-06
T	T	TRICHLORETHAN	270.00000	3.03E-06
T	T	TIERKOERPER TS	269.17800	3.02E-06
T	T	SILICIUMDIOXID	246.33000	2.77E-06
T	T	NANO3	246.28500	2.77E-06
T	T	BARIUMBROMID	224.74620	2.52E-06
T	T	GEB. WASSER ERDREICH	222.00000	2.49E-06
T	T	SALZE FHM I TS	201.33608	2.26E-06
T	T	ADS. WASSER S/K/S	158.06600	1.78E-06
T	T	KONZENTRAT BORAT	156.00000	1.75E-06
T	T	GEB. WASSER C.GIPS	136.26727	1.53E-06
T	T	ADS. WASSER KIESELG.	88.60005	9.95E-07
T	T	CACO3	87.50000	9.83E-07
T	T	GEB. WASSER VDK F	81.64267	9.17E-07
T	T	GEB. WASSER VDK U	81.60000	9.17E-07
T	T	GEB. WASSER LABORABW	67.00000	7.53E-07
T	T	ADS. WASSER STRQ.BEH	56.94400	6.40E-07
T	T	AL2O3	45.04500	5.06E-07
T	T	ACRYLGLAS	40.50000	4.55E-07
T	T	ADS. WASSER AS-VERB	40.00000	4.49E-07
T	T	GEB. WASSER U-VERB.	30.00000	3.37E-07
T	T	ADS. WASSER U+U-OXID	29.40000	3.30E-07
T	T	GEB. WASSER CHEMIKAL	25.00000	2.81E-07
T	T	ADS. WASSER SCHLACKE	19.20000	2.16E-07
T	T	GEB. WASSER U-TH-VER	11.58400	1.30E-07
T	T	ADS. WASSER BA-BR.	5.00000	5.62E-08
T	T	ADS. WASSER UOX+U-VB	4.00000	4.49E-08
T	T	SALZE FHM F TS	2.54064	2.85E-08
T	T	BERYLLIUMPULVER	0.00100	1.12E-11
Gesamtsumme			89 023 925.34157	1.000000

B.2. Gesamtinventar aus allen Stoffuntergruppen (SUG) und allen Kammern, alle Beiträge; geordnet nach Masse der Materialien in Abfällen, Abfallbehältern und Fixierungsmitteln [kg]

Kammer	Beitrag	Material (SUG)	Masse [kg]	Anteil
T	ABFALL	FE-METALLE	12 476 476.94201	0.460627
T	ABFALL	ZELLULOSE TS	2 846 960.95959	0.105109
T	ABFALL	NORMALBETON	2 065 112.03508	0.076243
T	ABFALL	NE-METALLE	1 068 015.43384	0.039431
T	ABFALL	KUNSTSTOFFE	1 046 835.57476	0.038649
T	ABFALL	PAPIER TS	852 390.20010	0.031470
T	ABFALL	VDK GFK/KFK SALZ TS	796 559.40570	0.029409
T	ABFALL	GERAETEGLAS	789 591.31075	0.029151
T	ABFALL	STAHL 2	474 700.74210	0.017526
T	ABFALL	BAUMWOLLE TS	449 335.88730	0.016589
T	ABFALL	SAND/KIES/STEINE	433 289.66467	0.015997
T	ABFALL	MINERALWOLLE	321 266.04380	0.011861
T	ABFALL	KIESELGUR TS	310 430.93312	0.011461
T	ABFALL	HYDRATWASSER ZELLHMA	245 394.45676	0.009060
T	ABFALL	HYDRATWASSER ZELLUL.	220 829.07457	0.008153
T	ABFALL	SALZKONZENTRAT TS	208 049.03435	0.007681
T	ABFALL	BORSAEURE/BORATE TS	178 911.62529	0.006605
T	ABFALL	VDK DWR SALZ TS	159 526.11683	0.005890
T	ABFALL	PVC (WEICH)	158 289.06044	0.005844
T	ABFALL	ASCHE TS	143 427.16064	0.005295
T	ABFALL	GUMMI (VULKANISIERT)	126 884.05581	0.004685
T	ABFALL	POLYETHYLEN	119 113.76225	0.004398
T	ABFALL	GEB. WASSER VDK DWR	114 294.22847	0.004220
T	ABFALL	STAHL 1	110 915.68961	0.004095
T	ABFALL	HOLZ TS	101 164.76800	0.003735
T	ABFALL	ALUMINIUM	99 966.40218	0.003691
T	ABFALL	PULVERHARZ TS	96 187.89427	0.003551
T	ABFALL	ASBEST TS	76 679.05360	0.002831
T	ABFALL	ADS. WASSER	69 626.51368	0.002571
T	ABFALL	PORENWASSER PULVERHZ	63 947.12477	0.002361
T	ABFALL	GRAFIT TS	62 119.26336	0.002293
T	ABFALL	STAHL 1.4541	58 466.60040	0.002159
T	ABFALL	OEL	50 886.27582	0.001879
T	ABFALL	VDK SWR SALZ TS	46 320.32864	0.001710
T	ABFALL	CHELATE/KOMPLEXBILD.	39 908.57332	0.001473
T	ABFALL	ERDREICH	39 084.73440	0.001443
T	ABFALL	VDK I SALZ TS	36 175.95487	0.001336
T	ABFALL	ZIRCALOY 2	35 822.67000	0.001323
T	ABFALL	GEB. WASSER VDK GFK	31 934.50625	0.001179
T	ABFALL	BORATE KKS TS	31 569.94531	0.001166
T	ABFALL	KORROSIONSPRODUKTE	30 806.06215	0.001137
T	ABFALL	SALZE FHM K TS	29 129.17828	0.001075
T	ABFALL	ZELLSTOFF TS	25 489.74800	0.000941
T	ABFALL	GEB. WASSER SALZKONZ	24 492.85849	0.000904
T	ABFALL	HYDRATWASSER PAPIER	24 050.91692	0.000888
T	ABFALL	GEB. WASSER	23 275.82860	0.000859
T	ABFALL	TBP/KEROSIN	22 473.39939	0.000830
T	ABFALL	KUGELHARZ TS	21 187.00002	0.000782
T	ABFALL	SILIKONKAUTSCHUK	20 988.01040	0.000775
T	ABFALL	KUPFER	19 641.96379	0.000725
T	ABFALL	AKTIVKOHLE TS	15 882.64000	0.000586
T	ABFALL	HAEMATITBETON	15 336.19200	0.000566
T	ABFALL	PORENWASSER KUGELHZ	15 133.13294	0.000559

B5

Kammer	Beitrag	Material (SUG)	Masse [kg]	Anteil
T	ABFALL	VDK KFA SALZ TS	13 534.99232	0.000500
T	ABFALL	BLEI	10 941.05927	0.000404
T	ABFALL	BTEX/LOESUNGSMITTEL	8 808.33856	0.000325
T	ABFALL	HYDRATWASSER BAUMW.	8 714.32256	0.000322
T	ABFALL	ZIEGEL	8 014.35600	0.000296
T	ABFALL	SALZE TS	7 815.07624	0.000289
T	ABFALL	SALZKONZENTR. DWR TS	5 955.36358	0.000220
T	ABFALL	SALZE K TS	5 241.01847	0.000193
T	ABFALL	ERDE	5 183.99693	0.000191
T	ABFALL	SALZKONZENTR. SWR TS	4 707.14907	0.000174
T	ABFALL	BITUMEN	4 302.31240	0.000159
T	ABFALL	SALZE VDK GFK/KFK TS	3 974.79100	0.000147
T	ABFALL	SIC	3 339.36000	0.000123
T	ABFALL	VDK F SALZ TS	3 020.77880	0.000112
T	ABFALL	SALZE F TS	2 817.88837	0.000104
T	ABFALL	HYDRATWASSER HOLZ	2 719.88640	0.000100
T	ABFALL	VA-STAHL	2 639.39000	0.000097
T	ABFALL	GEB. WASSER SALZE	2 625.21160	0.000097
T	ABFALL	KERAMIK	2 422.47904	0.000089
T	ABFALL	VDK KWU SALZ TS	2 393.18122	0.000088
T	ABFALL	KOLLAGENE TS	2 375.15976	0.000088
T	ABFALL	PORTLANDZEMENTSTEIN	2 217.05520	0.000082
T	ABFALL	STAHL 1.4571	2 170.58400	0.000080
T	ABFALL	ADS. WASSER GLAS	2 135.47600	0.000079
T	ABFALL	SCHLACKE TS	1 920.00000	0.000071
T	ABFALL	GEB. WASSER VDK SWR	1 753.77319	0.000065
T	ABFALL	TITAN	1 685.88000	0.000062
T	ABFALL	LABORABWASSER TS	1 559.82300	0.000058
T	ABFALL	VDK U SALZ TS	1 556.77500	0.000057
T	ABFALL	ADS. WASSER ASCHE	1 319.85600	0.000049
T	ABFALL	STAHL ST 37	869.60000	0.000032
T	ABFALL	ADS. WASSER GRAFIT	846.06400	0.000031
T	ABFALL	HYDRATWASSER ZELLST.	790.00800	0.000029
T	ABFALL	PFLANZL. ABFAELLE TS	781.50000	0.000029
T	ABFALL	GEB. WASSER EDTA	722.85600	0.000027
T	ABFALL	SALZE KFA TS	722.00000	0.000027
T	ABFALL	ARSENVERBINDUNGEN	720.00000	0.000027
T	ABFALL	CAF2	675.40480	0.000025
T	ABFALL	ADS. WASSER U-OXIDE	673.44000	0.000025
T	ABFALL	GEB. WASSER VDK I	589.86186	0.000022
T	ABFALL	EDTA/KOMPLEXBILDNER	560.11022	0.000021
T	ABFALL	ADS. WASSER ASBEST	472.56000	0.000017
T	ABFALL	PORENWASSER	396.82000	0.000015
T	ABFALL	GEB. WASSER KOLLAGEN	393.50660	0.000015
T	ABFALL	POLYPROPYLEN	384.00000	0.000014
T	ABFALL	GEB. WASSER VDK KFA	361.31060	0.000013
T	ABFALL	KOBALT	316.80000	0.000012
T	ABFALL	SALZE I TS	316.31691	0.000012
T	ABFALL	FORMALIN	299.18694	0.000011
T	ABFALL	TRICHLORETHAN	270.00000	9.97E-06
T	ABFALL	TIERKOERPER TS	269.17800	9.94E-06
T	ABFALL	SILICIUMDIOXID	246.33000	9.09E-06
T	ABFALL	NANO3	246.28500	9.09E-06
T	ABFALL	BARIUMBROMID	224.74620	8.30E-06
T	ABFALL	GEB. WASSER ERDREICH	222.00000	8.20E-06
T	ABFALL	SALZE FHM I TS	201.33608	7.43E-06
T	ABFALL	ADS. WASSER S/K/S	158.06600	5.84E-06
T	ABFALL	KONZENTRAT BORAT	156.00000	5.76E-06
T	ABFALL	PORENWASSER AK	97.32800	3.59E-06
T	ABFALL	CACO3	87.50000	3.23E-06

B6

Kammer	Beitrag	Material (SUG)	Masse [kg]	Anteil
T	ABFALL	GEB. WASSER VDK F	81.64267	3.01E-06
T	ABFALL	GEB. WASSER VDK U	81.60000	3.01E-06
T	ABFALL	GEB. WASSER LABORABW	67.00000	2.47E-06
T	ABFALL	ADS. WASSER STRQ.BEH	56.94400	2.10E-06
T	ABFALL	AL2O3	45.04500	1.66E-06
T	ABFALL	ACRYLGLAS	40.50000	1.50E-06
T	ABFALL	ADS. WASSER AS-VERB	40.00000	1.48E-06
T	ABFALL	ADS. WASSER KIESELG.	34.48000	1.27E-06
T	ABFALL	GEB. WASSER U-VERB.	30.00000	1.11E-06
T	ABFALL	ADS. WASSER U+U-OXID	29.40000	1.09E-06
T	ABFALL	KRISTALLWASSER	27.25380	1.01E-06
T	ABFALL	GEB. WASSER CHEMIKAL	25.00000	9.23E-07
T	ABFALL	ADS. WASSER SCHLACKE	19.20000	7.09E-07
T	ABFALL	GEB. WASSER U-TH-VER	11.58400	4.28E-07
T	ABFALL	ADS. WASSER BA-BR.	5.00000	1.85E-07
T	ABFALL	ADS. WASSER UOX+U-VB	4.00000	1.48E-07
T	ABFALL	SALZE FHM F TS	2.54064	9.38E-08
T	ABFALL	BERYLLIUMPULVER	0.00100	3.69E-11
Summe ABFALL			27 085 883.57803	1.000000
T	ABFALLBEHAELTER	NORMALBETON	24 671 752.80000	0.527985
T	ABFALLBEHAELTER	HAEMATITBETON	10 619 752.50000	0.227267
T	ABFALLBEHAELTER	STAHL MRST37-2	5 416 060.00000	0.115906
T	ABFALLBEHAELTER	PORTLANDZEMENTSTEIN	5 313 129.00000	0.113703
T	ABFALLBEHAELTER	ARM. STAHL	594 600.00000	0.012725
T	ABFALLBEHAELTER	KUNSTHARZ	44 122.07200	0.000944
T	ABFALLBEHAELTER	STAHL GGG40	41 723.00000	0.000893
T	ABFALLBEHAELTER	ZINK	14 301.91800	0.000306
T	ABFALLBEHAELTER	EPDM (DICHTUNG)	11 030.51800	0.000236
T	ABFALLBEHAELTER	BLEI	1 633.00000	0.000035
Summe ABFALLBEHAELTER			46 728 104.80800	1.000000
T	FIXIERUNGSMITTEL	PORTL.ZEMENTMOERTEL	7 766 820.64962	0.510641
T	FIXIERUNGSMITTEL	PORTLANDZEMENTSTEIN	6 749 844.59520	0.443779
T	FIXIERUNGSMITTEL	BITUMEN	300 308.68000	0.019744
T	FIXIERUNGSMITTEL	PZ-OELSCHIEFERSTEIN	146 411.68000	0.009626
T	FIXIERUNGSMITTEL	TORF TS	78 796.08603	0.005181
T	FIXIERUNGSMITTEL	POLYSTYROL	48 312.00000	0.003176
T	FIXIERUNGSMITTEL	AKTIVKOHLE TS	31 368.39379	0.002062
T	FIXIERUNGSMITTEL	VERMICULIT TS	24 462.65297	0.001608
T	FIXIERUNGSMITTEL	ADS. WASSER TORF	17 296.70181	0.001137
T	FIXIERUNGSMITTEL	PVC (WEICH)	17 149.16000	0.001127
T	FIXIERUNGSMITTEL	CHEMIEGIPS TS	10 882.58740	0.000715
T	FIXIERUNGSMITTEL	KIESELGUR TS	5 451.47995	0.000358
T	FIXIERUNGSMITTEL	GEB. WASSER VERMICU.	4 919.66403	0.000323
T	FIXIERUNGSMITTEL	PORENWASSER AK	3 485.37709	0.000229
T	FIXIERUNGSMITTEL	KRISTALLWASSER	2 829.44533	0.000186
T	FIXIERUNGSMITTEL	KNOCHENLEIM TS	1 035.64500	0.000068
T	FIXIERUNGSMITTEL	GEB. WASSER K.LEIM	371.77000	0.000024
T	FIXIERUNGSMITTEL	GEB. WASSER C.GIPS	136.26727	8.96E-06
T	FIXIERUNGSMITTEL	ADS. WASSER KIESELG.	54.12005	3.56E-06
Summe FIXIERUNGSMITTEL			15 209 936.95554	1.000000
Gesamtsumme			89 023 925.34157	1.000000

B.3. Anorganische und organische Komponenten gesamt (in kg), sortiert nach Komponenten

Komponente	Org/ Anorg	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
ADS. WASSER	A	95 683.86738	1.07E-03
AG	A	3.43931	3.86E-08
AGCL	A	563.93492	6.33E-06
AGJ	A	20.93806	2.35E-07
AL	A	1 468.46538	1.65E-05
AL(NO3) 3	A	680.84879	7.65E-06
AL(OH) 3	A	14 004.72358	1.57E-04
ALPO4	A	129.78276	1.46E-06
ALUMINIUM	A	99 966.40218	1.12E-03
AL2O3	A	2 999 689.39512	3.37E-02
ARM. STAHL	A	891 770.60773	1.00E-02
AS	A	235.19819	2.64E-06
AS2O3	A	72.00000	8.09E-07
AU	A	2.69E-05	3.02E-13
B	A	630.78598	7.09E-06
BA	A	1 951.03601	2.19E-05
BABR2	A	224.74620	2.52E-06
BAO	A	30 794.06112	3.46E-04
BASO4	A	41 894.10343	4.71E-04
BAUSTAHL	A	635 840.00123	7.14E-03
BA3 (ASO4) 2	A	72.00000	8.09E-07
BE	A	11.40354	1.28E-07
BERYLLIUMPULVER	A	0.00100	1.12E-11
BI	A	325.53848	3.66E-06
BLEI	A	12 574.05927	1.41E-04
BR	A	0.00078	8.77E-12
B2O3	A	36 321.20029	4.08E-04
C	A	211 525.51527	2.38E-03
CA	A	22 641.35914	2.54E-04
CA(NO3) 2	A	4 827.23602	5.42E-05
CACO3	A	854 819.40191	9.60E-03
CAF2	A	1 833.09013	2.06E-05
CAO	A	10 122 502.55645	1.14E-01
CASO4	A	759 515.25678	8.53E-03
CA10 (ASO4) 6 (OH) 2	A	72.00000	8.09E-07
CA10 (PO4) 6 (OH) 2	A	593.12658	6.66E-06
CA3 (ASS3) 2	A	72.00000	8.09E-07
CA3 (PO4) 2	A	8.39116	9.43E-08
CD	A	38.57565	4.33E-07
CE	A	2 278.76938	2.56E-05
CHRYSOTIL	A	70 612.65026	7.93E-04
CL	A	3 719.08111	4.18E-05
CO	A	2 399.92688	2.70E-05
CR	A	8.08E-06	9.07E-14
CR (III)	A	1 252.62118	1.41E-05
CR (VI)	A	20.83446	2.34E-07
CR(NO3) 3	A	226.94971	2.55E-06
CR(OH) 3	A	130.47491	1.47E-06
CRPO4	A	560.58404	6.30E-06

B8

Komponente	Org/ Anorg	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
CR2O3	A	4 986.88236	5.60E-05
CS	A	195.32310	2.19E-06
CU	A	2 897.50106	3.25E-05
CU (ASO2) 2	A	72.00000	8.09E-07
CU (NO3) 2	A	453.89943	5.10E-06
CUO	A	1 614.89958	1.81E-05
CU3 (ASO3) 2	A	72.00000	8.09E-07
CU3 (ASO4) 2	A	62.40168	7.01E-07
CU4 (ASO2) 6 (CH3COO) 2	A	72.00000	8.09E-07
EU	A	58.59693	6.58E-07
F	A	13 731.34094	1.54E-04
FE	A	5 077.35368	5.70E-05
FE (NO3) 3	A	907.79850	1.02E-05
FE (OH) 3	A	2 193.40740	2.46E-05
FEO	A	81 827.33465	9.19E-04
FEOOH	A	550.64346	6.19E-06
FEPO4	A	11 841.35589	1.33E-04
FE2O3	A	7 535 495.40078	8.46E-02
FE4 [FE (CN) 6] 3	A	1 049.41554	1.18E-05
GEB. WASSER	A	4 277 772.02404	4.81E-02
HF	A	472.03080	5.30E-06
HG	A	1.12019	1.26E-08
HO	A	104.17231	1.17E-06
HYDRATWASSER	A	502 498.66522	5.64E-03
H3BO3	A	155 702.38917	1.75E-03
K	A	3 433.60015	3.86E-05
KCL	A	910.80379	1.02E-05
KNO3	A	226.94971	2.55E-06
KOBALT	A	316.80000	3.56E-06
KRISTALLWASSER	A	15 956.41511	1.79E-04
KUPFER	A	19 641.96379	2.21E-04
K2O	A	578 678.67861	6.50E-03
K4P2O7	A	83.69999	9.40E-07
LA	A	1 285.87701	1.44E-05
LI	A	2 886.96202	3.24E-05
MG	A	7 939.67879	8.92E-05
MG (NO3) 2	A	2 042.54672	2.29E-05
MG (OH) 2	A	4 178.31884	4.69E-05
MGCO3	A	139.46141	1.57E-06
MGO	A	205 279.97926	2.31E-03
MGSIO3	A	5 824.11350	6.54E-05
MN	A	6.08525	6.84E-08
MN (NO3) 2	A	226.94971	2.55E-06
MNO	A	6 801.01523	7.64E-05
MNO2	A	7 552.07562	8.48E-05
MO	A	26.25419	2.95E-07
MOO3	A	480.67828	5.40E-06
NA	A	26 995.30206	3.03E-04
NA-HEXAMETAPHOSPHAT	A	519.51717	5.84E-06
NA-PYROPHOSPHAT	A	2 597.73778	2.92E-05
NAAL (OH) 2CO3	A	278.92281	3.13E-06
NABO2	A	32 728.76733	3.68E-04
NACL	A	51 559.67984	5.79E-04
NAF	A	2 723.39551	3.06E-05

B9

Komponente	Org/ Anorg	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
NANO3	A	908 809.68051	1.02E-02
NAOH	A	4 611.99631	5.18E-05
NA2B4O7	A	25 464.60212	2.86E-04
NA2CO3	A	975.59380	1.10E-05
NA2HPO4	A	21 435.75683	2.41E-04
NA2MOO4	A	907.79850	1.02E-05
NA2O	A	791 683.10853	8.89E-03
NA2S	A	17.28000	1.94E-07
NA2SIO3	A	1 434.15108	1.61E-05
NA2SO4	A	83 248.10795	9.35E-04
NA5-TRIPOLYPHOSPHAT	A	12 869.25336	1.45E-04
NB	A	227.87694	2.56E-06
ND	A	1 139.38469	1.28E-05
NE-METALLE	A	1 068 015.43384	1.20E-02
NH4	A	36 348.82294	4.08E-04
NH4CL	A	1 652.32673	1.86E-05
NI	A	1 212.86035	1.36E-05
NI-TITANGELB	A	1 456.02838	1.64E-05
NI (NO3) 2	A	226.94971	2.55E-06
NIO	A	4 356.60566	4.89E-05
NO2	A	8 159.88555	9.17E-05
O	A	586 004.40955	6.58E-03
P	A	212.79764	2.39E-06
PB	A	898.18140	1.01E-05
PBHASO4	A	72.00000	8.09E-07
PBO	A	13.10318	1.47E-07
PB4 (PBOH) (ASO4) 3	A	72.00000	8.09E-07
PORENWASSER	A	2 575 080.02280	2.89E-02
PO4	A	6 297.21124	7.07E-05
P2O5	A	16 418.49038	1.84E-04
RB	A	3 580.92455	4.02E-05
RUNO (NO3) 3	A	453.89943	5.10E-06
S	A	100.29988	1.13E-06
SB	A	1 279.05225	1.44E-05
SC	A	374.36926	4.21E-06
SE	A	2.44791	2.75E-08
SI	A	1 102.54989	1.24E-05
SIC	A	3 339.36000	3.75E-05
SIO2	A	28 017 616.73243	3.15E-01
SM	A	227.87694	2.56E-06
SN	A	1 145.30526	1.29E-05
SO3	A	1 023.14617	1.15E-05
SO4	A	7 113.61437	7.99E-05
SR	A	6.16495	6.93E-08
SRO	A	48 155.96221	5.41E-04
STAHL GGG40	A	41 723.00000	4.69E-04
STAHL MRST37-2	A	8 522 702.75856	9.57E-02
STAHL RST37-2	A	24 952.95388	2.80E-04
STAHL ST 12.03	A	636 300.32404	7.15E-03
STAHL ST 1303	A	2 445 389.48063	2.75E-02
STAHL ST 37	A	60 756.68932	6.82E-04
STAHL ST 37-2 W 22	A	4 691 155.33020	5.27E-02
STAHL STW 22	A	1 112 901.74323	1.25E-02
STAHL 1.4301	A	53 187.29654	5.97E-04

B10

Komponente	Org/ Anorg	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
STAHL 1.4306	A	80.50140	9.04E-07
STAHL 1.4541	A	59 691.27736	6.71E-04
STAHL 1.4571	A	2 170.58400	2.44E-05
SULFAMINSAEURE	A	5.02513	5.64E-08
TE	A	1.62769	1.83E-08
TH	A	222.96090	2.50E-06
TI	A	27.60912	3.10E-07
TIO2	A	58 424.48446	6.56E-04
TITAN	A	1 685.88000	1.89E-05
TL	A	3.26707	3.67E-08
TM	A	472.03080	5.30E-06
U	A	66.89046	7.51E-07
V	A	1 034.97065	1.16E-05
Y	A	240.84476	2.71E-06
YB	A	113.93847	1.28E-06
ZINK	A	14 301.91800	1.61E-04
ZIRCALOY 2	A	35 822.67000	4.02E-04
ZN	A	8 007.67337	8.99E-05
ZN(NO3) 2	A	453.89943	5.10E-06
ZN(OH) 2	A	58.72059	6.60E-07
ZNO	A	4 941.26459	5.55E-05
ZN3(PO4) 2	A	2 936.35919	3.30E-05
ZRO	A	6 887.40141	7.74E-05
ZRO(NO3) 2	A	226.94971	2.55E-06
Summe anorganisch		82 537 402.87844	0.927137
-N(CH3) 3	O	13 191.04512	1.48E-04
(NH4) 2HC6H5O7	O	296.29831	3.33E-06
ABIETINSS.ETHYLESTER	O	192.61614	2.16E-06
ACETON (C3H6O)	O	1 321.25078	1.48E-05
ACRYLGLAS	O	73 418.32204	8.25E-04
ARYLAMIDGELB	O	882.44144	9.91E-06
BAUMWOLLFASER	O	449 335.88730	5.05E-03
BENZOYLPEROXID	O	903.33802	1.01E-05
BENZYLALKOHOL	O	324.77419	3.65E-06
BISPH.DGL.E	O	12 706.27429	1.43E-04
BUTYLDIGLYKOL	O	1 298.79294	1.46E-05
BUTYLGLYKOL	O	357.13008	4.01E-06
C	O	322 291.07176	3.62E-03
CA	O	3.84925	4.32E-08
CARBOXYMETHYLCELL.	O	177.45939	1.99E-06
CH3COONA	O	3 249.99276	3.65E-05
CU	O	0.00027	3.02E-12
DBSA NA-SALZ	O	6 121.76102	6.88E-05
DIAETHYLENGLYKOL	O	39.03974	4.39E-07
DIBUTYLPHOSPHAT	O	113.47572	1.27E-06
DICHLORMETHAN CH2CL2	O	880.83386	9.89E-06
DIOCTYLPHTHALAT (DOP)	O	77 017.82811	8.65E-04
DIOXAN (C4H8O2)	O	1 761.66771	1.98E-05
DIVINYLBENZOL	O	1 806.67604	2.03E-05
DODECAN C12H26	O	15 776.76952	1.77E-04
DODECYL.DIM.B.AM.CL	O	6.50156	7.30E-08
DODECYLPOLYGLY.7 ÄO	O	11 817.37057	1.33E-04

B11

Komponente	Org/ Anorg	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
EPDM-KAUTSCHUK	O	5 404.95382	6.07E-05
ETHANOL (C2H5OH)	O	880.83386	9.89E-06
ETHYLACETAT (C4H8O2)	O	1 761.66771	1.98E-05
ETHYLBENZOL C6H5C2H5	O	440.41693	4.95E-06
ETHYLEN-VA-KAUTSCHUK	O	52 412.73003	5.89E-04
ETHYLENGLYKOL	O	2 542.15086	2.86E-05
F	O	61.61426	6.92E-07
FE	O	0.01615	1.81E-10
FE (HCOO) 3	O	29.29376	3.29E-07
FE (NH4) -EDTA	O	46.28694	5.20E-07
FORMALDEHYD	O	164.55282	1.85E-06
FULVOSAEUREN R.V.	O	10 014.59852	1.12E-04
GELATINE	O	1 035.64500	1.16E-05
H	O	36 957.15985	4.15E-04
HEDP-NA	O	389.63788	4.38E-06
HUMINE R.V.	O	10 011.67475	1.12E-04
HUMINSAEUREN R.V.	O	10 116.62972	1.14E-04
I	O	5.38E-05	6.05E-13
KOLLAGENE TS R.V.	O	2 375.15976	2.67E-05
K3C6H5O7	O	113.42847	1.27E-06
LIGNIN	O	33 129.97664	3.72E-04
MARLOPHEN 812	O	2 723.39551	3.06E-05
MARLOX FK 64	O	2 723.39551	3.06E-05
METHANOL (CH3OH)	O	470.33562	5.28E-06
MG	O	0.07268	8.16E-10
MN	O	5.38E-05	6.05E-13
MONOBUTYLPHOSPHAT	O	113.47572	1.27E-06
MONOSTEARYLPHOSPHAT	O	1 493.68783	1.68E-05
N	O	2 332.18291	2.62E-05
NA-ABIETAT	O	1 733.54529	1.95E-05
NA-PALMITAT	O	6 297.21124	7.07E-05
NA-TOLUOLSULFONAT	O	259.75859	2.92E-06
NA2-EDTA	O	0.08593	9.65E-10
NA2-HYDROGENCITRAT	O	324.77419	3.65E-06
NA2C2O4	O	13 521.68556	1.52E-04
NA2C4H4O6	O	13 287.55949	1.49E-04
NA3C6H5O7	O	13 808.02213	1.55E-04
NEOPREN [C4H5CL]	O	34 068.27452	3.83E-04
O	O	58 433.78472	6.56E-04
OEL (C10H22)	O	52 577.70629	5.91E-04
P	O	3.06863	3.45E-08
PA NYLON 6 [C6H11ON]	O	50 316.22083	5.65E-04
PALMITINS.MYRICYLEST	O	2 724.65404	3.06E-05
PARAFFIN	O	1 951.18759	2.19E-05
PE	O	286 272.30273	3.22E-03
PETP	O	52 412.73003	5.89E-04
PHB-METHYLESTER	O	116.96732	1.31E-06
PHTHALSAEUREANHYDRID	O	3 795.38063	4.26E-05
POLYDIMETHYLSILOXANE	O	2 162.00936	2.43E-05
POLYESTER	O	52 412.73003	5.89E-04
POLYISOPREN	O	220 124.04008	2.47E-03
POLYSTYROL	O	188 348.51799	2.12E-03
POPOP	O	0.44042	4.95E-09
PP	O	66 473.70448	7.47E-04

B12

Komponente	Org/ Anorg	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
PPO	0	6.60625	7.42E-08
PROPYLENGLYKOL	0	162.38709	1.82E-06
PTFE	0	6 289.52760	7.06E-05
PUR	0	50 012.22700	5.62E-04
PVC	0	301 539.44277	3.39E-03
S	0	21 521.07366	2.42E-04
SI-KAUTSCHUK	0	59 344.49864	6.67E-04
SO3	0	14 999.52719	1.68E-04
TOLUOL (C6H5CH3)	0	880.83386	9.89E-06
TRIBUTYLPHOSPHAT	0	7 195.91924	8.08E-05
TRICHLORETHAN	0	270.00000	3.03E-06
TRIETHANOLAMINOLEAT	0	324.77419	3.65E-06
XYLOL	0	433.37026	4.87E-06
ZELLSTOFF	0	25 489.74800	2.86E-04
ZELLULOSE (C6H10O5)	0	2 851 198.51474	3.20E-02
ZELLULOSE PAPIER	0	852 390.20010	9.57E-03
ZN	0	0.00888	9.98E-11
Summe organisch		6 486 522.46313	0.072863
Summe Gesamt		89 023 925.34157	1.000000

Exemplar für BMBF und BMU

**B.4. Elemente in anorganischer bzw. organischer Bindung gesamt
(in kg), sortiert nach Elementen**

Element	Form	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
AG	A ANORG	52.08497	5.85E-07
AG	A LEG	0.46720	5.25E-09
AG	A MIN	3.25538	3.66E-08
AG	A SALZ	382.15578	4.29E-06
AL	A ANORG	8 239.95161	9.26E-05
AL	A LEG	99 601.11322	1.12E-03
AL	A MET	72 625.04950	8.16E-04
AL	A MIN	1 574 948.19754	1.77E-02
AL	A OXID	10 387.05599	1.17E-04
AL	A SALZ	492.43028	5.53E-06
AS	A ANORG	0.10678	1.20E-09
AS	A LEG	0.12574	1.41E-09
AS	A MIN	235.09141	2.64E-06
AS	A OXID	54.53211	6.13E-07
AS	A SALZ	206.53470	2.32E-06
AU	A ANORG	2.69E-05	3.02E-13
B	A ANORG	26 903.24700	3.02E-04
B	A LEG	0.01791	2.01E-10
B	A MIN	11 443.07284	1.29E-04
B	A OXID	466.63673	5.24E-06
B	A SALZ	11 171.42075	1.25E-04
BA	A ANORG	5 175.50339	5.81E-05
BA	A MIN	47 125.16115	5.29E-04
BA	A OXID	1 881.59970	2.11E-05
BA	A SALZ	146.87162	1.65E-06
BE	A ANORG	1.35E-07	1.51E-15
BE	A MET	0.00100	1.12E-11
BE	A MIN	11.40354	1.28E-07
BI	A LEG	11.31665	1.27E-07
BI	A MIN	325.53848	3.66E-06
BR	A ANORG	0.00078	8.77E-12
BR	A SALZ	120.87516	1.36E-06
C	A ANORG	45 111.96815	5.07E-04
C	A ELEM	62 088.17267	6.97E-04
C	A LEG	28 409.03787	3.19E-04
C	A MIN	203 545.18040	2.29E-03
C	A OXID	4 515.83928	5.07E-05
C	A SALZ	267.45792	3.00E-06
CA	A ANORG	4 353.91614	4.89E-05
CA	A LEG	0.99966	1.12E-08
CA	A MIN	7 797 580.78611	8.76E-02
CA	A OXID	17 923.85911	2.01E-04
CA	A SALZ	5 529.98065	6.21E-05
CD	A ANORG	5.95406	6.69E-08
CD	A LEG	15.75002	1.77E-07
CD	A MIN	6.52661	7.33E-08
CD	A SALZ	26.09498	2.93E-07
CE	A MIN	2 278.76938	2.56E-05
CL	A ANORG	261.52751	2.94E-06

B14

Element	Form	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
CL	A MIN	1 144.89411	1.29E-05
CL	A SALZ	35 257.83626	3.96E-04
CO	A ANORG	317.18524	3.56E-06
CO	A LEG	1 387.21787	1.56E-05
CO	A MIN	1 304.41863	1.47E-05
CO	A SALZ	1 095.12301	1.23E-05
CR	A ANORG	198.33087	2.23E-06
CR	A LEG	20 756.77780	2.33E-04
CR (III)	A ANORG	1.08135	1.21E-08
CR (III)	A MIN	85.43307	9.60E-07
CR (III)	A OXID	3 412.03700	3.83E-05
CR (III)	A SALZ	1 281.54072	1.44E-05
CR (VI)	A MIN	20.83446	2.34E-07
CS	A ANORG	5.38E-06	6.05E-14
CS	A MIN	195.32309	2.19E-06
CU	A ANORG	36.28050	4.08E-07
CU	A LEG	76 996.81038	8.65E-04
CU	A MET	775 379.20497	8.71E-03
CU	A MIN	814.04008	9.14E-06
CU	A OXID	2 253.94800	2.53E-05
CU	A SALZ	1 328.49151	1.49E-05
EU	A LEG	0.00380	4.27E-11
EU	A MIN	58.59693	6.58E-07
F	A ANORG	328.71043	3.69E-06
F	A MIN	11 415.98924	1.28E-04
F	A SALZ	4 111.01024	4.62E-05
FE	A ANORG	3 347.31091	3.76E-05
FE	A LEG	18 959 529.62246	2.13E-01
FE	A MIN	662 957.21290	7.45E-03
FE	A OXID	4 673 211.49196	5.25E-02
FE	A SALZ	6 247.81442	7.02E-05
H	A ANORG	8 298.79707	9.32E-05
H	A LEG	0.89557	1.01E-08
H	A MIN	796.40502	8.95E-06
H	A SALZ	8 599.67970	9.66E-05
HF	A LEG	3.58227	4.02E-08
HF	A MIN	472.03080	5.30E-06
HG	A ANORG	0.14171	1.59E-09
HG	A MIN	0.97848	1.10E-08
HO	A LEG	0.00380	4.27E-11
HO	A MIN	104.17231	1.17E-06
H2O	A ANORG	7 466 990.99454	8.39E-02
I	A SALZ	11.31790	1.27E-07
K	A ANORG	1 383.70426	1.55E-05
K	A MIN	480 234.57049	5.39E-03
K	A OXID	632.21750	7.10E-06
K	A SALZ	2 176.98973	2.45E-05
LA	A MIN	1 285.87701	1.44E-05
LI	A MIN	1 791.83901	2.01E-05
LI	A SALZ	1 095.12301	1.23E-05
MG	A ANORG	4 402.57678	4.95E-05
MG	A LEG	26.14309	2.94E-07
MG	A MIN	142 535.39302	1.60E-03
MG	A OXID	5 952.86679	6.69E-05

B15

Element	Form	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
MG	A SALZ	1 570.50866	1.76E-05
MN	A ANORG	25.03651	2.81E-07
MN	A LEG	61 118.50347	6.87E-04
MN	A MET	961.21389	1.08E-05
MN	A MIN	8 224.98809	9.24E-05
MN	A OXID	886.79121	9.96E-06
MN	A SALZ	978.42962	1.10E-05
MO	A ANORG	1.83880	2.07E-08
MO	A LEG	118.00172	1.33E-06
MO	A MIN	24.41539	2.74E-07
MO	A OXID	320.38940	3.60E-06
MO	A SALZ	422.95745	4.75E-06
N	A ANORG	167.17926	1.88E-06
N	A LEG	1 322.28772	1.49E-05
N	A SALZ	182 937.95851	2.05E-03
NA	A ANORG	10 090.27858	1.13E-04
NA	A LEG	0.39284	4.41E-09
NA	A MIN	587 357.42652	6.60E-03
NA	A OXID	556.95351	6.26E-06
NA	A SALZ	343 952.17975	3.86E-03
NB	A LEG	9.54041	1.07E-07
NB	A MIN	227.87694	2.56E-06
ND	A MIN	1 139.38469	1.28E-05
NI	A ANORG	64.12695	7.20E-07
NI	A LEG	12 118.53553	1.36E-04
NI	A MET	5 340.07717	6.00E-05
NI	A MIN	1 141.77403	1.28E-05
NI	A OXID	2 392.81078	2.69E-05
NI	A SALZ	1 156.74353	1.30E-05
O	A ANORG	172 591.78908	1.94E-03
O	A LEG	48.87979	5.49E-07
O	A MIN	21 259 085.44329	2.39E-01
O	A OXID	2 078 045.22089	2.33E-02
O	A SALZ	622 500.53337	6.99E-03
P	A ANORG	4 970.17766	5.58E-05
P	A LEG	8 136.97659	9.14E-05
P	A MIN	7 171.04150	8.06E-05
P	A SALZ	9 162.69782	1.03E-04
PB	A ANORG	116.17734	1.31E-06
PB	A LEG	12 699.76115	1.43E-04
PB	A MET	1 068.01543	1.20E-05
PB	A MIN	651.52916	7.32E-06
PB	A OXID	12.16392	1.37E-07
PB	A SALZ	224.20265	2.52E-06
RB	A ANORG	0.00124	1.39E-11
RB	A MIN	3 580.92332	4.02E-05
RU	A SALZ	144.67651	1.63E-06
S	A ANORG	1 509.00169	1.70E-05
S	A LEG	7 925.57814	8.90E-05
S	A MIN	182 767.65290	2.05E-03
S	A SALZ	22 087.49102	2.48E-04
SB	A ANORG	92.55541	1.04E-06
SB	A LEG	0.25148	2.82E-09
SB	A MIN	183.92924	2.07E-06

B16

Element	Form	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
SB	A SALZ	1 095.12301	1.23E-05
SC	A MIN	374.36926	4.21E-06
SE	A MIN	2.44791	2.75E-08
SI	A ANORG	16 995.78309	1.91E-04
SI	A LEG	20 667.08118	2.32E-04
SI	A MIN	13 065 270.19405	1.47E-01
SI	A OXID	33 246.50484	3.73E-04
SI	A SALZ	1 095.12301	1.23E-05
SM	A LEG	0.00380	4.27E-11
SM	A MIN	227.87694	2.56E-06
SN	A ANORG	5.92057	6.65E-08
SN	A LEG	566.46949	6.36E-06
SN	A MET	8 116.91730	9.12E-05
SN	A MIN	1 139.38469	1.28E-05
SR	A ANORG	6.16495	6.93E-08
SR	A MIN	40 720.41923	4.57E-04
TA	A LEG	0.01999	2.25E-10
TE	A MIN	1.62769	1.83E-08
TH	A MIN	222.96090	2.50E-06
TI	A ANORG	6 202.39102	6.97E-05
TI	A LEG	249.61803	2.80E-06
TI	A MIN	23 396.05807	2.63E-04
TI	A OXID	7 912.94987	8.89E-05
TL	A MIN	3.26707	3.67E-08
TM	A MIN	472.03080	5.30E-06
U	A ANORG	2.69E-07	3.02E-15
U	A LEG	0.16120	1.81E-09
U	A MIN	66.89046	7.51E-07
V	A ANORG	56.06131	6.30E-07
V	A LEG	4.99832	5.61E-08
V	A MIN	978.90934	1.10E-05
W	A LEG	3.58227	4.02E-08
Y	A OXID	240.84476	2.71E-06
YB	A MIN	113.93847	1.28E-06
ZN	A ANORG	2 334.26332	2.62E-05
ZN	A LEG	14 103.61853	1.58E-04
ZN	A MET	204 524.95558	2.30E-03
ZN	A MIN	4 884.60518	5.49E-05
ZN	A OXID	5 094.88488	5.72E-05
ZN	A SALZ	1 351.03255	1.52E-05
ZR	A LEG	35 095.41438	3.94E-04
ZR	A MIN	5 859.69393	6.58E-05
ZR	A SALZ	89.53409	1.01E-06
Summe anorganisch		82 537 402.87844	0.927137
C	O ORG	3 431 323.84478	3.85E-02
C	O SALZ	10 762.30865	1.21E-04
CA	O ORG	3.84925	4.32E-08
CL	O ORG	186 914.44802	2.10E-03
CU	O ORG	0.00027	3.02E-12
F	O ORG	4 840.53607	5.44E-05
FE	O ORG	0.01615	1.81E-10

B17

Element	Form	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
FE	O SALZ	15.70831	1.76E-07
H	O ORG	464 784.64627	5.22E-03
H	O SALZ	696.72030	7.83E-06
I	O ORG	5.38E-05	6.05E-13
K	O SALZ	43.42303	4.88E-07
MG	O ORG	0.07268	8.16E-10
MN	O ANORG	5.38E-05	6.05E-13
N	O ORG	16 292.80854	1.83E-04
N	O SALZ	42.07587	4.73E-07
NA	O ORG	1 136.06810	1.28E-05
NA	O SALZ	12 452.47593	1.40E-04
O	O ORG	2 283 403.85956	2.56E-02
O	O SALZ	20 664.71545	2.32E-04
P	O ORG	1 117.38844	1.26E-05
S	O ORG	28 732.15138	3.23E-04
SI	O ORG	23 295.33711	2.62E-04
ZN	O ORG	0.00888	9.98E-11
Summe organisch		6 486 522.46313	0.072863
Summe Gesamt		89 023 925.34157	1.000000

Exemplar für BMBF und BMBU