



Bundesamt für Strahlenschutz

# Deckblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24200000	HE	RB	0001	00	Stand: 01.11.2006

Titel der Unterlage:

BESTIMMUNG EINES QUELLTERMS FÜR CHEMISCHE UND CHEMOTOXISCHE STOFFE IN DEN EINLAGERUNGSBEREICHEN DER SCHACHTANLAGE ASSE MIT RADIOAKTIVEN ABFÄLLEN UND VERSATZSTOFFEN

Ersteller:

BUCHHEIM ENGINEERING, GSF

Stempelfeld:

	Freigabe für Behörden:	Freigabe im Projekt:

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



Bundesamt für Strahlenschutz

# Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24200000	HE	RB	0001	00	Stand: 01.11.2006

Titel der Unterlage:  
BESTIMMUNG EINES QUELLTERMS FÜR CHEMISCHE UND CHEMOTOXISCHE STOFFE IN DEN  
EINLAGERUNGSBEREICHEN DER SCHACHTANLAGE ASSE MIT RADIOAKTIVEN ABFÄLLEN UND  
VERSATZSTOFFEN

Rev	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer (Zeichn.)	Rev. Seite	Kat. (*)	Erläuterung der Revision

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
Kategorie S = substantielle Revision  
mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden

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

**Bestimmung eines Quellterms für  
chemische und chemotoxische Stoffe in den  
Einlagerungsbereichen der Schachtanlage Asse  
mit radioaktiven Abfällen und Versatzstoffen**

**Abschlussbericht**

**November 2006**

**Buchheim Engineering**

**Forschungsbergwerk Asse**

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

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Vorgehensweise</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Grundlage zur Ermittlung grundwassergefährdender Stoffe sowie weiterer chemotoxischer Stoffe</b> .....	<b>4</b>
3.1	Grundwassergefährdende Stoffe.....	4
3.2	Chemotoxische Stoffe.....	6
3.2.1	<i>Organisch chemotoxische Stoffe</i> .....	6
3.2.2	<i>Anorganisch chemotoxische Stoffe</i> .....	6
<b>4</b>	<b>Materialien, Komponenten und Elemente im Gesamtinventar der Einlagerungsbereiche der Schachanlage Asse</b> .....	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>8</b>
5.1	Inventarmassen in Einlagerungskammern und -bereichen.....	8
5.2	Massen der Materialien .....	11
5.3	Massen der grundwassergefährdenden Stoffe .....	13
5.4	Massen der chemotoxischen Stoffe .....	18
5.4.1	<i>Massen der organischen chemotoxischen Stoffe</i> .....	19
5.4.2	<i>Massen der anorganischen chemotoxischen Stoffe</i> .....	19
<b>6</b>	<b>Bandbreite des Gesamtinventars</b> .....	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Gesamtinventar an chemischen und chemotoxischen Stoffen für die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen</b> .....	<b>23</b>
<b>8</b>	<b>Modellbetrachtungen zur Ermittlung eines Quellterms für alle wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe des Gesamtinventars der Schachanlage Asse</b> .....	<b>24</b>
8.1	Grundlagen für die Ermittlung des Quellterms .....	24
8.2	Vorgehensweise bei der Ermittlung des Quellterms .....	28
8.2.1	<i>Hypothetische vollständige Lösung aller wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe</i> .....	28
8.2.2	<i>Reale Löslichkeit von wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffen in reinem Wasser</i> .....	31
8.2.3	<i>Reale Löslichkeit von wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffen in MgCl<sub>2</sub>-reichen Salzlösungen</i> .....	35
<b>9</b>	<b>Bestimmung eines Quellterms für alle wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe</b> .....	<b>40</b>
<b>10</b>	<b>Verzeichnis der verwendeten Unterlagen</b> .....	<b>45</b>
<b>ANHANG A</b>	<b>Einschlägige Regelwerke für relevante Wasserinhaltsstoffe</b> .....	<b>1</b>
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
<b>ANHANG B Detaillierte Ergebnistabellen .....</b>		<b>1</b>
B.1	Gesamtinventar aus allen Stoffuntergruppen (SUG) und allen Einlagerungsbereichen; geordnet nach Masse der Materialien [kg] .....	1
B.2	Gesamtinventar aus allen Stoffuntergruppen (SUG) und allen Einlagerungsbereichen; geordnet nach Masse der Materialien in Abfällen, Abfallbehältern, Fixierungsmitteln und Versatzstoffen [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.....	12
<b>ANHANG C Chemische Zusammensetzung von Versatzmaterial.....</b>		<b>1</b>
C.1	Materialzusammensetzung Brucit-Granulat, geordnet nach Komponenten [Ma.-%] ..	1
C.2	Materialzusammensetzung Brucit-Pulver, geordnet nach Komponenten [Ma.-%].....	2
C.3	Materialzusammensetzung Schutzfluid, geordnet nach Komponenten [Ma.-%] .....	3

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1:	Massenanteile des Abfallinventars mit den U-, Th- und Pu-Oxiden je Einlagerungskammer (Stichtag 26.05.2009).....	8
Tabelle 5-2:	Einlagerungs- und Nebenkammern sowie vorgelagerte Grubenbaue je Einlagerungsbereich.....	9
Tabelle 5-3:	Massenanteile des Abfallinventars und der Versatzstoffe je Einlagerungsbereich.....	10
Tabelle 5-4:	Prognostizierte Lösungsvolumina in den Einlagerungsbereichen im Jahr 2009.....	11
Tabelle 5-5:	Massenanteile des Abfall- und Gesamtinventars (Abfall, Abfallbehälter, Fixierungsmittel, Versatzstoffe).....	11
Tabelle 5-6:	Massenanteile der Materialien im Abfall- und Gesamtinventar.....	12
Tabelle 5-7:	Massenanteile der grundwassergefährdenden Stoffe im Abfall- und Gesamtinventar	14
Tabelle 5-8:	Massenanteile organisch chemotoxischer Stoffe im Abfall- und Gesamtinventar.....	19
Tabelle 5-9:	Massenanteile anorganisch chemotoxischer Stoffe im Abfall- und Gesamtinventar...	21
Tabelle 8-1:	Massenanteile des Gesamtinventars inkl. Angabe des dazugehörigen Lösungsvolumens (Wasseranteil).....	24
Tabelle 8-2:	Massen aller wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe pro Einlagerungsbereich (ELB), in kg... ..	25
Tabelle 8-3:	Konzentrationen aller wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe pro Einlagerungsbereich (ELB) bei hypothetischer vollständiger Lösung (100 %) in reinem Wasser entsprechend dem Wasseranteil des Schutzfluides, in mg/L... ..	29
Tabelle 8-4:	Konzentrationen ausgewählter wasserrechtlich relevanter Wasserinhaltsstoffe pro Einlagerungsbereich (ELB) unter Berücksichtigung der realen Löslichkeit in reinem Wasser entsprechend dem Wasseranteil des Schutzfluides, in mg/L... ..	33
Tabelle 8-5:	Eluierbarkeit einiger wasserrechtlich relevanter Wasserinhaltsstoffe in Q-Lösungssystemen (Q-Lösung IP 21 mit zementhaltigen Materialien) in Mol/L nach DEV-S4-Versuch für die Quelltermberechnung.....	36
Tabelle 8-6:	Eluierbarkeit einiger wasserrechtlich relevanter Wasserinhaltsstoffe in Q-Lösungssystemen (Q-Lösung IP 21 mit zementhaltigen Materialien) in Mol/L für die Quelltermberechnung... ..	36
Tabelle 8-7:	Konzentrationen ausgewählter wasserrechtlich relevanter Wasserinhaltsstoffe pro Einlagerungsbereich (ELB) unter Berücksichtigung der realen Löslichkeit in MgCl <sub>2</sub> -reichen Salzlösungen entsprechend dem Wasseranteil des Schutzfluides, in mg/L... ..	38
Tabelle 9-1:	Konzentrationen (Quellterm) aller wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe pro Einlagerungsbereich (ELB) im Wasseranteil des Schutzfluides, in mg/L.....	41
Tabelle 9-2:	Konzentrationen (Quellterm) aller wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe pro Einlagerungsbereich (ELB) im Schutzfluid, in mg/L... ..	43

## Abkürzungsverzeichnis

ANT	Anionische Tenside
AOX	Adsorbierbare Organische Halogenverbindungen
BTEX G	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol, Styrol, Cumol Gesamt
Chelate	z. B. EDTA, NTA
CMC-Na	Carboxymethylcellulose-Natrium
CN	Cyanide
DDBSA	Dodecylbenzolsulfonat Na-Salz
DDD	Dichlordiphenyldichlorethan
DDE	Dichlordiphenyldichlorethylen
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
DOC G	Dissolved Organic Carbon Gesamt
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
DWR	Druckwasserreaktor
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure (-acetat)
ELB	Einlagerungsbereich
ELK	Einlagerungskammer
EOX	Eluierbare Organische Halogenverbindungen
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
GK	Grenzkonzentration
GrWV	Grundwasserverordnung
KFA	Kernforschungszentrum Jülich (jetzt FZ Jülich)
Komplexbildner	z. B. Citronensäure (-citrate), Weinsäure (-tartrate), Oxalsäure (-oxalate)
KW	Kohlenwasserstoff(e)
LAW	schwach radioaktive Abfälle
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LHKW G	Leichtflüchtige Halogenierte Kohlenwasserstoffe Gesamt
MAW	mittleradioaktive Abfälle
NE-Metalle	Nichteisenmetalle (hier SUG, u.a. Al, Cu, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn)
NIT	Nichtionische Tenside
NTA	Nitrilotriessigsäure (-acetat)
OCLV G	Organische Chlorverbindungen Gesamt
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
PTFE	Polytetrafluorethylen
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
PW	Prüfwerte
PZ	Portlandzement
R. V.	Repräsentativer Vertreter
S/K/S	Sand/Kies/Steine
SOS G	Suspended Organic Solids Gesamt
SUG	Stoffuntergruppe
SWR	Siedewasserreaktor
TBP	Tributylphosphat
TCDD	Tetrachlordibenzodioxin(e)
TCDF	Tetrachlordibenzofuran(e)
TOC	Total Organic Carbon
TS	Trockensubstanz
VDK	Verdampferkonzentrate
WHO	World Health Organization

## 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.

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.

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. In [4] wurden bereits die chemischen und chemotoxischen Stoffe der eingelagerten Abfallgebände – ohne Massenanteile des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars aus [1] – ermittelt. Über das bisher betrachtete stoffliche Inventar hinaus wurden auch die Massenanteile von Uran, Thorium und Plutonium aus [1] sowie noch einzubringende Versatzstoffe berücksichtigt. Bei den letztgenannten handelt es sich u.a. um Brucit-Granulat, welches in die Einlagerungskammern der 750-m- und 725-m Sohle (LAW) eingebracht wird. Darüber hinaus wird das Schutzfluid, welches zur Flutung der Grube von der 775-m- bis zur 700-m-Sohle eingesetzt wird, mit Brucit-Pulver angereichert [2]. Dieses mit Brucit-Pulver angereicherte Schutzfluid wird in [2] als Suspension von Brucit in Schutzfluid bezeichnet. Resultierend wurden für die LAW-Kammern folgende Versatzstoffe betrachtet: Brucit-Granulat, Brucit-Pulver und Schutzfluid [5]. Die MAW-Kammer wird mit Sorelbeton und Schutzfluid (ohne Brucit-Pulver) verfüllt [3]. Diese Versatzmassnahmen sollen den gefahrlosen Abschluss der eingelagerten Abfälle von der Biosphäre gewährleisten.

Um die Auswirkungen des eingelagerten Abfallinventars einschliesslich der noch einzubringenden Versatzstoffe auf eine eventuelle schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder einer sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften durch bestimmte gefährliche Stoffe untersuchen zu können, muss die stoffliche Zusammensetzung der Materialien bekannt sein. Bei einer wasserrechtlichen Prüfung sind Angaben zu Materialien und deren weitere Differenzierung in einzelne chemische Komponenten (auch Verbindungen) und Elemente erforderlich.

## 2 Vorgehensweise

Die Ermittlung der chemischen Komponenten (auch Verbindungen) und Elemente der Abfallgebinde ist ausführlich in [4] beschrieben.

Um die Auswirkungen des eingelagerten Abfallinventars einschliesslich der Massenanteile von Uran, Thorium und Plutonium aus [1] und der noch einzubringenden Versatzstoffe auf eine eventuelle schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder einer sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften durch bestimmte gefährliche Stoffe untersuchen zu können, war die Ermittlung der Materialmengen bis hin zu den einzelnen chemischen Komponenten und Elementen erforderlich.

Die als Bestandteile der radioaktiven Abfälle eingelagerten Massen von Uran, Thorium und Plutonium wurden auf Grundlage von [1] ermittelt. Bezugszeitpunkt der Aktivitäten bzw. Massen ist analog zu [20] der Stichtag 26.05.2009. Aus den Massenanteilen von elementarem Uran (ca. 102 Mg), Thorium (ca. 87 Mg) und Plutonium (ca. 12 kg) berechneten sich ca. 121 Mg  $U_3O_8$ , ca. 99 Mg  $ThO_2$  und ca. 13 kg  $PuO_2$ .

Den Mengen- bzw. Massenangaben der Versatzstoffe innerhalb der Einlagerungskammern liegt das Verfüllkonzept der LAW-Einlagerungskammern [2] und der MAW-Einlagerungskammer [3] zugrunde.

Zur Stabilisierung des geochemischen Milieus wird in die Einlagerungskammern der 750-m- und 725-m-Sohle (LAW) ein Mg-Depot eingebracht. Als Mg-Depot wird in die vorhandenen und zugänglichen Resthohlräume der LAW-Einlagerungskammern ein Brucit-Granulat eingespült. Darüber hinaus wird das Schutzfluid, welches zur Flutung der Grube von der 775-m- bis zur 700-m-Sohle eingesetzt wird, mit Brucit-Pulver (5 g Brucit-Pulver / Liter Schutzfluid) angereichert [2]. Dieses mit Brucit-Pulver angereicherte Schutzfluid wird in [2] als Suspension von Brucit in Schutzfluid bezeichnet. Resultierend wurden für die LAW-Kammern folgende Versatzstoffe betrachtet: Brucit-Granulat, Brucit-Pulver und Schutzfluid [5].

Die MAW-Kammer wird mit Sorelbeton verfüllt. Aus speziellen Strömungsmodellierungen zum Gas- und Lösungstransport wird gefolgert, dass ein Kontakt der in der MAW-Kammer eingelagerten Abfälle mit Schutzfluid in der Nachbetriebsphase unwahrscheinlich ist [19]. Da ein Lösungszutritt jedoch nicht völlig auszuschliessen ist, wurde von GSF FB Asse für die Ermittlung des Quellterms chemischer und chemotoxischer Stoffe festgelegt, dass von einer vollständigen Sättigung des gesamten Porenraums der MAW-Kammer mit Schutzfluid auszugehen ist [3]. Eine Zugabe von Brucit-Pulver erfolgt nicht. Der Sorelbeton, der als stützender Versatz in die MAW-Kammer eingebracht wird, kann nach [6] und [7] als chemisch stabil gegenüber dem Schutzfluid angesehen werden. Die Bestandteile des Sorelbetons wurden daher nicht in die Betrachtungen der wasserrechtlichen Bestimmungen einbezogen. Als Versatzstoff wurde für die MAW-Kammer also lediglich Schutzfluid (ohne Brucit-Pulver) betrachtet.

Die chemische Zusammensetzung des Brucit-Granulats und -Pulvers wurde auf der Basis „Trockensubstanz (TS)“ charakterisiert und berücksichtigt, siehe ANHANG C.1 und C.2.

Was die Organika im Brucit-Granulat betrifft, so wurden konservativ die mit der chemischen Analyse ermittelten Summenparameter TOC (Total Organic Carbon) als Huminstoffe und EOX (Eluierbare Organische Halogenverbindungen) als Dichlormethan (auch als Methylenchlorid bekannt) berücksichtigt, damit diese Massenanteile als Summenparameter TOC bzw. für EOX als Summenparameter OCLV (Organische Chlorverbindungen) und zusätzlich als Summenparameter LHKW (Leichtflüchtige Halogenierte Kohlenwasserstoffe) Eingang in die Bestimmung des Quellterms finden.

Die chemische Zusammensetzung des Schutzfluides ist aus ANHANG C.3 ersichtlich und entspricht den Anforderungen des Konzeptes zur Schliessung der Schachanlage Asse [18]. Da in den Einlagerungsbereichen genügend  $\text{CaSO}_4$  zur Aufsättigung des darüberstehenden Schutzfluides vorhanden ist, wurde der Übergang vom quinären ("R"-Lösung) auf das hexäre System des Schutzfluides mit der sich einstellenden Sättigungskonzentration von ca. 200 ppm (0,02 Ma.-%)  $\text{CaSO}_4$  im Schutzfluid berücksichtigt.

Sowohl bei der chemischen Zusammensetzung des Brucit-Granulats und Brucit-Pulvers als auch beim Schutzfluid wurden alle Inhaltsstoffe (Parameter), deren Messergebnis bei der Analyse als unterhalb der Bestimmungsgrenze eingestuft wurde, im Sinne einer konservativen (d. h. auf der sicheren Seite liegende) Betrachtungsweise als identisch mit der Bestimmungsgrenze berücksichtigt. Dies betrifft z. B. wasserrechtlich relevante Stoffe (u. a. chemotoxische Stoffe) wie Ag, Ba, Bi,  $\text{BrO}_3$ , Cd, Cr, Cr(VI), Cu, Hg, Ni, Li, Se, Pb, Zn beim Brucit-Granulat bzw. -Pulver sowie Ag, Ba, Be, F, Mo, Ni,  $\text{PO}_4$ , Sb, Te, Ti beim Schutzfluid. Für das Schutzfluid wurde von GSF-FB-Asse zudem eine Urankonzentration von 32,5 ppb ( $3,25 \text{ E-}06$  Ma.-%) angegeben und für die Auswertungen berücksichtigt.

Was die Organika im Schutzfluid betrifft, so wurden konservativ die mit der chemischen Analyse ermittelten Summenparameter DOC (Dissolved Organic Carbon) und TOC (Total Organic Carbon) als Huminstoffe sowie AOX (Adsorbierbare Organische Halogenverbindungen) und EOX (Eluierbare Organische Halogenverbindungen) als Dichlormethan (auch als Methylenchlorid bekannt) berücksichtigt, damit diese Massenanteile als Summenparameter DOC und SOS (Suspended Organic Solids) bzw. für AOX sowohl als Summenparameter AOX sowie zusätzlich als OCLV (Organische Chlorverbindungen) und als LHKW (Leichtflüchtige Halogenierte Kohlenwasserstoffe) Eingang in die Bestimmung des Quellterms fanden.

Die Ermittlung des Quellterms für die wasserrechtlich relevanten Stoffe (grundwassergefährdende Stoffe sowie weitere chemotoxische Stoffe) erfolgte für sechs Einlagerungsbereiche, denen die insgesamt 13 Einlagerungskammern mit den eingelagerten Abfallgebänden zugeordnet sind (s. Kapitel 5.1). Es ist der Quellterm für jeden der sechs Einlagerungsbereiche dargestellt.

### **3 Grundlage zur Ermittlung grundwassergefährdender Stoffe sowie weiterer chemotoxischer Stoffe**

Das Gesamtinventar der Schachanlage Asse (Inventar der Abfallgebinde einschliesslich der Massenanteile der Uran-, Thorium- und Plutonium-Oxide sowie der noch einzubringenden Versatzstoffe) setzt sich aus einer Vielzahl von organischen und anorganischen Stoffen zusammen. Darunter befinden sich auch grundwassergefährdende Stoffe sowie darüber hinaus weitere organische und anorganische chemotoxische Stoffe. In [4] ist die Ermittlung der wasserrechtlich relevanten Stoffe des Inventars der Abfallgebinde – ohne Massenanteile des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars aus [1] – ausführlich beschrieben und die Ergebnisse dargestellt. Die in [4] angewandte Vorgehensweise wurde in diesem Bericht auf die Uran-, Thorium- und Plutonium-Oxide der eingelagerten radioaktiven Abfälle sowie die Versatzstoffe Brucit-Granulat, Brucit-Pulver und Schutzfluid ausgedehnt.

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 Schachanlage 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 [9]
- die Neufassung der Trinkwasserverordnung von 1990 und deren Novellierung 2001 [10, 11]
- die Empfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) [12] einschliesslich der im Entwurf vorliegenden aktualisierten Prüfwerte [13] und der Geringfügigkeitsschwellen [14]
- das Regelwerk des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e. V. [15]

Ergänzend werden auch internationale Empfehlungen und Regelwerke [16, 17] herangezogen.

#### **3.1 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 [9] 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

## 3.2 Chemotoxische Stoffe

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

### 3.2.1 Organisch chemotoxische Stoffe

Aufgenommen in die Liste organisch 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 organisch chemotoxischen 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 organisch chemotoxischen Verbindungen und deren typische Klassenvertreter, wiedergegeben.

### 3.2.2 Anorganisch chemotoxische Stoffe

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

Die Liste der anorganisch 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, Quecksilber, Selen, Silber, Tellur, Thallium, Titan, Uran, Vanadium, Wismut, Zink und Zinn.

## 4 Materialien, Komponenten und Elemente im Gesamtinventar der Einlagerungsbereiche der Schachanlage Asse

Das Gesamtinventar der Schachanlage Asse (Inventar der Abfallgebinde einschliesslich der Uran-, Thorium- und Plutonium-Oxide sowie der noch einzubringenden Versatzstoffe) wurde vollständig zerlegt in Materialien, Komponenten (auch Verbindungen) und einzelne Elemente. In [4] ist das „Zwiebelschalenprinzip“ ausführlich beschrieben. Die in [4] angewandte Vorgehensweise wurde in diesem Bericht auf die Uran-, Thorium- und Plutonium-Oxide sowie die Versatzstoffe Brucit-Granulat, Brucit-Pulver und Schutzfluid in den Einlagerungsbereichen ausgedehnt.

Die stofflichen Anteile

1. der Abfälle (inkl.  $U_3O_8$ ,  $ThO_2$  und  $PuO_2$ )
2. der Abfallbehälter
3. der verwendeten Fixierungsmittel
4. der Versatzstoffe (Brucit-Granulat, Brucit-Pulver und Schutzfluid)

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, z. B. für das Material „Bauschutt“ (Si, Ca, Al, O, H etc.) bzw. für das Material „Kugelharze“ (C, H, O, N, S etc.)

## 5 Ergebnisse

Das komplette Gesamtinventar in den Einlagerungsbereichen der Schachanlage Asse (Inventar der Abfallgebände einschliesslich Uran-, Thorium- und Plutonium-Oxide sowie der noch einzubringenden Versatzstoffe) 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. Dabei sind die Ergebnisse des Abfallinventars aus [4] und des Gesamtinventars zur besseren Vergleichbarkeit gegenübergestellt.

Die in den Tabellen der Kapitel 5.1 und 5.2 angegebenen Einzelwerte der Massenanteile des Abfallinventars sind mathematisch gerundet. Die angegebenen Summenwerte sind in Fettschrift dargestellt und ergeben sich aus der Addition der genauen Einzelwerte des Abfallinventars.

Das vorliegende Gesamtinventar, aufgeschlüsselt nach Materialien, Komponenten und einzelnen Elementen, ist als das bestmögliche realistische Inventar anzusehen und für die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen zugrunde zu legen.

### 5.1 Inventarmassen in Einlagerungskammern und -bereichen

In Tabelle 5-1 sind die Massenanteile des Abfallinventars aus allen Einlagerungskammern zusammengestellt. Die Masse des Abfallinventars ohne Uran-, Thorium- und Plutonium aus dem Aktivitätsinventar beträgt ca. 89.024 Mg [4]. Wie in [1] aufgeführt lassen sich aus den Massenanteilen von elementarem Uran (ca. 102 Mg), Thorium (ca. 87 Mg) und Plutonium (ca. 12 kg) ca. 121 Mg  $U_3O_8$ , ca. 99 Mg  $ThO_2$  und ca. 13 kg  $PuO_2$  berechnen. Damit beträgt die Gesamtmasse des Abfallinventars nunmehr ca. 89.244 Mg.

Tabelle 5-1: Massenanteile des Abfallinventars mit den U-, Th- und Pu-Oxiden je Einlagerungskammer (Stichtag 26.05.2009)

EINLAGERUNGS- KAMMERN (ELK)	MASSE ABFALLINVENTAR ohne U-, Th-, Pu-Oxide [Mg]	$U_3O_8$ [Mg]	$ThO_2$ [Mg]	$PuO_2$ [Mg]	MASSE ABFALLINVENTAR mit U-, Th-, Pu-Oxide [Mg]
1/750	4.269	28,127	3,137	0,002	4.300
2/750	3.564	0,225	5,806	0,001	3.570
2/750Na2	15.968	25,563	5,180	0,000	15.999
4/750	2.271	19,625	4,020	-	2.295
5/750	7.027	0,287	0,527	0,001	7.028
6/750	15.754	0,252	1,370	0,002	15.755
7/725Na2	3.536	9,297	3,650	0,000	3.549
7/750	9.860	0,144	-	0,003	9.860
8/750	4.646	33,496	49,197	0,000	4.729
8a/511	731	0,179	0,003	0,001	732
10/750	1.855	1,261	3,555	0,000	1.860
11/750	15.173	0,955	11,008	0,002	15.184

EINLAGERUNGS-KAMMERN (ELK)	MASSE ABFALLINVENTAR ohne U-, Th-, Pu-Oxide [Mg]	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> [Mg]	ThO <sub>2</sub> [Mg]	PuO <sub>2</sub> [Mg]	MASSE ABFALLINVENTAR mit U-, Th-, Pu-Oxide [Mg]
12/750	4.370	1,413	11,789	0,001	4.383
<b>Σ Alle ELK</b>	<b>89.024</b>	<b>120,824</b>	<b>99,242</b>	<b>0,013</b>	<b>89.244</b>

Aus modelltechnischen Gründen wurden die 13 Einlagerungskammern zu insgesamt sechs Einlagerungsbereichen zusammengefasst (s. Tabelle 5-2). Diese Modellannahme wird wie folgt begründet: Die Pfeiler zwischen den einzelnen Einlagerungskammern sowie zwischen Einlagerungskammern und benachbarten Abbauen sind zumeist stark durchbaut. Darüber hinaus existieren Durchhiebe zwischen den jeweiligen Einlagerungskammern, deren strömungstechnischer Zustand nicht quantifiziert werden kann, da sie nicht zugänglich sind. Diese Durchhiebe können nicht mit definierten Strömungsbarrieren verschlossen werden, so dass die durch derartige Durchhiebe verbundenen Einlagerungskammern hydraulisch miteinander kommunizieren. In noch zugängliche und hinsichtlich der gebirgsmechanischen Situation geeignete Durchhiebe, Strecken etc. zu den Einlagerungskammern werden Strömungsbarrieren eingebaut oder strömungsbegrenzend wirkender Sorelbeton (Stützversatz) eingebracht [18]. Hierdurch werden bestimmte Grubenbereiche untereinander bzw. diese vom übrigen Grubengebäude abgegrenzt. Diese abgegrenzten Grubenbereiche werden im Folgenden als Einlagerungsbereiche bezeichnet [20]. In den vorliegenden Betrachtungen umfasst der Einlagerungsbereich MAW im Gegensatz zu den Einlagerungsbereichen LAW ausschliesslich den Fasskegel in der MAW-Kammer, da das übrige Hohlraumvolumen der MAW-Kammer mit Sorelbeton verfüllt wird und daher nicht strömungs- und transportwirksam ist. Die Einlagerungsbereiche LAW umfassen Einlagerungskammern, ggf. Nebenkammern, Durchhiebe und Strecken.

Tabelle 5-2: Einlagerungs- und Nebenkammern sowie vorgelagerte Grubenbaue je Einlagerungsbereich

EINLAGERUNGS-BEREICHE	LAW1A	LAW1B	LAW2	LAW3	LAW4	MAW
Einlagerungskammern	2/750Na2	7/725Na2	10/750 8/750 4/750	5/750 6/750 7/750 11/750	12/750 2/750 1/750	8a/511
Nebenkammern	1/750Na2 3/750Na2	6/725Na2 8/725Na2	9/750	-	-	-
nördlich vorgelagerte Grubenbaue	-	-	südliche Richtstrecke nach Westen	südliche Richtstrecke nach Osten	-	-

In Tabelle 5-3 ist für jeden Einlagerungsbereich das Gesamtinventar, bestehend aus dem Abfallinventar und den noch einzubringenden Versatzstoffen, zusammengestellt. Neben dem Abfallinventar wird in die noch unverfüllten Resthohlräume der LAW-Einlagerungskammern

Brucit-Granulat eingebracht. In einigen Nebenkammern der Einlagerungsbereiche werden aus Sicherheitsgründen zusätzliche Massen an Brucit-Granulat eingebracht. Darüber hinaus wird mit Brucit-Pulver angereichertes Schutzfluid in die LAW-Einlagerungsbereiche eingeleitet [2]. Sorelbeton, der als stützender Versatz in die Einlagerungsbereiche eingebracht wird, kann nach [6] und [7] als chemisch stabil angesehen werden. Die Bestandteile des Sorelbetons wurden daher nicht in die Betrachtungen der wasserrechtlichen Bestimmungen einbezogen. Die Gesamtmasse des hier betrachteten Inventars in den Einlagerungsbereichen beträgt damit ca. 212.181 Mg.

Tabelle 5-3: Massenanteile des Abfallinventars und der Versatzstoffe je Einlagerungsbereich

EINLAGERUNGSBEREICHE	EINLAGERUNGSKAMMERN	MASSE ABFALL-INVENTAR mit U, Th, Pu als Oxide [Mg]	MASSE BRUCIT-GRANULAT [Mg]	MASSE SCHUTZ-FLUID [Mg]	MASSE BRUCIT-PULVER [Mg]	MASSE GESAMT-INVENTAR [Mg]
MAW	8a/511	732	-	181	-	913
LAW1A	2/750Na2	15.999	2.000	30.123	115	48.237
LAW1B	7/725Na2	3.549	4.226	20.795	79	28.649
LAW2	4/750 8/750 10/750	8.884	6.101	16.941	65	31.991
LAW3	5/750 6/750 7/750 11/750	47.827	1.546	26.148	100	75.621
LAW4	1/750 2/750 12/750	12.253	8.319	6.175	23	26.770
<b>Summe</b>		<b>89.244</b>	<b>22.192</b>	<b>100.363</b>	<b>382</b>	<b>212.181</b>

Die Ermittlung des in Tabelle 5-4 angegebenen Lösungsvolumens eines Einlagerungsbereiches erfolgt über die Abschätzung des gesamten Porenvolumens innerhalb des Einlagerungsbereiches. Dieses geschieht unter Berücksichtigung der Verfüllkonzepte der Einlagerungskammern [2], [3] sowie unter Einbeziehung der Porenvolumina in den Nebenkammern, den vorgelagerten Richtstrecken und den Durchhieben zwischen all diesen Grubenbauen. Die Hohlraumkonvergenz der Einlagerungskammern und Nebenkammern bis zum Jahr 2009 wurde dabei berücksichtigt. Das Jahr 2009 ergibt sich aus den Anfangsbedingungen der Transportmodellierungen [20]. Für die Berechnung der Porenvolumina in den Durchhieben, deren Anteil am Gesamtlösungsvolumen sehr gering ist, wurde das Ausbruchvolumen der Grubenbaue laut Grubenriss der SchachanlageASSE und deren vollständige Verfüllung mit Salzgrus unterstellt.

Tabelle 5-4: Prognostizierte Lösungsvolumina in den Einlagerungsbereichen im Jahr 2009

EINLAGERUNGSBEREICHE	LAW1A	LAW1B	LAW2	LAW3	LAW4	MAW
Lösungsvolumen [m <sup>3</sup> ]	22.977	15.862	12.922	19.945	4.710	138

In der Tabelle 5-5 sind die Massenanteile jeweils für Abfall, Abfallbehälter, Fixierungsmittel und Versatzstoffe zusammengestellt. Durch die Massenanteile der Uran-, Thorium- und Plutonium-Oxide und die noch einzubringenden Versatzstoffe erhöht sich das Abfallinventar von 89.024 Mg [4] auf ein Gesamtinventar von insgesamt 212.181 Mg.

Tabelle 5-5: Massenanteile des Abfall- und Gesamtinventars (Abfall, Abfallbehälter, Fixierungsmittel, Versatzstoffe)

BEITRÄGE ZUM INVENTAR	MASSE IM ABFALLINVENTAR [Mg]	MASSE IM GESAMTINVENTAR [Mg]
Abfall	27.086	27.306 *
Abfallbehälter	46.728	46.728
Fixierungsmittel	15.210	15.210
Versatzstoffe	-	122.937
<b>Σ Massenanteile im Inventar:</b>	<b>Σ 89.024</b>	<b>Σ 212.181</b>

\* mit U als U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, Th als ThO<sub>2</sub>, Pu als PuO<sub>2</sub> aus [1]

## 5.2 Massen der Materialien

Die Tabelle 5-6 zeigt die Massenanteile der Materialien des Abfallinventars [4] und des Gesamtinventars. Für die Versatzstoffe sind die Massen der Trockensubstanz und des Wassers jeweils getrennt aufgeführt. Der Anteil des gebundenen Wassers beträgt im Schutzfluid ca. 65,45 Ma.-%, im Brucit-Granulat und Brucit-Pulver liegen jeweils ca. 3,45 Ma.-% adsorbiertes Wasser vor. Die Massenanteile der Uran-, Thorium- und Plutonium-Oxide wurden als U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, ThO<sub>2</sub> und PuO<sub>2</sub> aus [1] berücksichtigt. In der Tabelle 5-6 sind alle Materialien mit einem Massenanteil von mind. 5 Mg aufgeführt; aufgrund seiner geringen Masse ist das PuO<sub>2</sub> (ca. 13 kg) hier nicht aufgeführt, kann aber ANHANG B.1 entnommen werden.

Im ANHANG B.1 sind die Massen der einzelnen Stoffuntergruppen des Gesamtinventars aufgelistet. In der Tabelle 5-6 werden die Stoffgruppen ähnlicher Materialien (z. B. zementhaltige Materialien, zellulosehaltige Materialien, Kunststoffe) der besseren Übersicht wegen zusammenfassend betrachtet. Dem ANHANG B.2 können die Massen der einzelnen Stoffuntergruppen geordnet nach Abfall, Abfallbehälter, Fixierungsmittel und Versatzstoffe entnommen werden; die Massen von U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, ThO<sub>2</sub> und PuO<sub>2</sub> sind im Anhang B.2 (Beitrag: Abfall) aufgeführt.

Tabelle 5-6: Massenanteile der Materialien im Abfall- und Gesamtinventar

MATERIALIEN	MASSE IM ABFALLINVENTAR [Mg]	MASSE IM GESAMTINVENTAR [Mg]
Geb. Wasser Schutzfluid	-	65.688
Zementhaltige Materialien	57.350	57.350
Schutzfluid TS	-	34.675
FE-Metalle / Stahl	19.179	19.179
Brucit-Granulat TS	-	21.426
Zellulosehaltige Materialien	4.779	4.779
Kunststoffe	1.593	1.593
NE-Metalle (spezifiziert)	1.068	1.068
VDK Salz TS	1.063	1.063
Geräteglas	792	792
Adsorb. Wasser Brucit-Granulat	-	766
Sand/Kies/Steine	433	433
Brucit-Pulver TS	-	369
Mineralwolle	321	321
Kieselgur	316	316
Bitumen	305	305
Wasser (adsorbiert + gebunden)	271	271
Salzkonzentrat TS	219	219
Borsäure/Borate TS	211	211
Pulverharze	160	160
Torf/Aktivkohle	147	147
Asche	145	145
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> (U als U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> aus [1])	-	121
Aluminium	100	100
ThO <sub>2</sub> (Th als ThO <sub>2</sub> aus [1])	-	99
Asbest	77	77
Grafit	63	63
Öl	51	51
Chelate/Komplexbildner	40	40
Erdreich	39	39
Kugelharze	36	36
Zircaloy 2	36	36
Korrosionsprodukte	31	31
Vermiculit	29	29
Salze FHM TS	29	29
TBP/Kerosin	22	22
Kupfer	20	20

MATERIALIEN	MASSE IM ABFALLINVENTAR [Mg]	MASSE IM GESAMTINVENTAR [Mg]
Salze TS	17	17
Zink	14	14
Gipsstein	14	14
Adsorbiertes Wasser Brucit-Pulver	-	13
Blei	13	13
BTEX/Lösemittel	9	9
Ziegel	8	8
Erde	5	5
Σ o.g. Materialien:	Σ 89.005	Σ 212.162
Σ Restliche Materialien:	Σ 19	Σ 19
<b>Σ Massenanteile des Inventars:</b>	<b>Σ 89.024</b>	<b>Σ 212.181</b>

-: Material im Abfallinventar nicht vorhanden

### 5.3 Massen der grundwassergefährdenden Stoffe

Die in den Listen I und II Grundwasserverordnung [9] genannten Stofffamilien und Stoffgruppen (s. Kapitel 3.1), 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 der Tabelle 5-7 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 Gesamtinventar 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.

Wurden 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 5-7 dient vornehmlich der Qualitätskontrolle und der Vergleichbarkeit der Angaben in den Anhängen. Die Bandbreite des Inventars mit seinen Materialien, Komponenten und Elementen wird in Kapitel 6 dargestellt.

Die Erhöhung der jeweiligen Massenanteile für das Gesamtinventar verglichen mit den Massenanteilen im Abfallinventar ist auf den Beitrag der Uran-Oxide und der noch

einzubringenden Versatzstoffe (Schutzfluid, Brucit-Granulat und Brucit-Pulver) zusätzlich zum vorhandenen Abfallinventar zurückzuführen, wie im Einzelnen aus Tabelle 5-7 ersichtlich ist.

Tabelle 5-7: Massenanteile der grundwassergefährdenden Stoffe im Abfall- und Gesamtinventar

GRUNDWASSER-GEFÄHRDENE STOFFE	KOMPONENTE	PARAMETER	MASSE IM ABFALLINVENTAR [kg]	MASSE IM GESAMTINVENTAR [kg]
<b>Liste I, lfd. Nr. 1</b>				
Organische Halogenverbindungen und Stoffe, die im Wasser derartige Verbindungen bilden können				
Org. Bromverbindungen	Org. Bromverbindungen	Br	0,00000	0,00000
Org. Chlorverbindungen	AOX S.FLUID ASSE (CH <sub>2</sub> CL <sub>2</sub> )	Cl	0,00000	3,59804
	DICHLORMETHAN CH <sub>2</sub> CL <sub>2</sub>	Cl	735,36349	735,36349
	DODECYL.DIM.B.AM.CL	Cl	0,67796	0,67796
	EOX BRUCIT TS (CH <sub>2</sub> CL <sub>2</sub> )	Cl	0,00000	109,26953
	NEOPREN [C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> CL]	Cl	13.642,17075	13.642,17075
	PUR	Cl	1.269,08261	1.269,08261
	PVC	Cl	171.051,89105	171.051,89105
	TRICHLORETHAN	Cl	215,26216	215,26216
	Summe		186.914,44802	187.027,31559
Org. Jodverbindungen	TIERKOERPER TS	I	5,38E-05	5,38E-05
<b>Liste I, lfd. Nr. 2</b>				
Organische Phosphorverbindungen				
	DIBUTYLPHOSPHAT	PO <sub>4</sub>	51,26804	51,26804
	HEDP-NA	PO <sub>4</sub>	324,58601	324,58601
	MONOBUTYLPHOSPHAT	PO <sub>4</sub>	69,93406	69,93406
	MONOSTEARYLPHOSPHAT	PO <sub>4</sub>	404,75961	404,75961
	TRIBUTYLPHOSPHAT	PO <sub>4</sub>	2.566,16581	2.566,16581
	Summe		3.416,71354	3.416,71354
<b>Liste I, lfd. Nr. 3</b>				
Organische Zinnverbindungen				
	Org. Zinnverbindungen	Sn	0,00000	0,00000
<b>Liste I, lfd. Nr. 4</b>				
Stoffe, die im oder durch Wasser krebserregende, mutagene oder teratogene Wirkung haben [17, 21 - 25]				
	DIBUTYLPHOSPHAT	→	113,47572	113,47572
	TOLUOL (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub> )	→	880,83386	880,83386
	TRIBUTYLPHOSPHAT	→	7.195,91924	7.195,91924
	XYLOL	→	433,37026	433,37026
	AG	→	437,96334	461,28969
	AS	→	496,39074	794,49488
	AU	→	2,69E-05	2,69E-05
	B	→	49.984,39523	53.608,08953
	BA	→	54.329,13586	54.331,46850
	BE	→	11,40454	15,91670
	CD	→	54,32567	65,26159
	CO	→	4.103,94475	4.103,94475
	CR	→	25.756,03528	25.830,87076

GRUNDWASSER- GEFÄHRDENDE STOFFE	KOMPONENTE	PARA- METER	MASSE IM ABFALLINVENTAR [kg]	MASSE IM GESAMTINVENTAR [kg]
	CS	→	195,32310	574,49960
	CU	→	856.808,77571	856.899,31648
	FE	→	24.305.309,17711	24.343.715,81794
	HG	→	1,12019	3,32268
	LI	→	2.886,96202	3.850,37150
	MN	→	72.194,96286	76.050,02860
	MO	→	887,60276	1.236,04148
	NI	→	22.214,06799	22.235,93982
	PB	→	14.771,84964	14.881,13223
	RB	→	3.580,92455	5.173,53324
	SB	→	1.371,85914	1.512,49958
	SE	→	2,44791	149,70128
	SR	→	40.726,58419	41.609,01691
	TE	→	1,62769	270,08859
	TL	→	3,26707	3,26707
	V	→	1.039,96897	1.039,96897
	ZN	→	232.293,36893	232.644,65048
	Summe		25.698.087,08434	25.749.684,13192
<b>Liste I, lfd. Nr. 5</b>				
Quecksilber und Quecksilberverbindungen				
	BRUCIT-GRANULAT TS	Hg	0,00000	2,14264
	PORTLANDZEMENTSTEIN	Hg	0,51279	0,51279
	PORTL.ZEMENTMOERTEL	Hg	0,20200	0,20200
	NORMALBETON	Hg	0,19835	0,19835
	KUNSTSTOFFE	Hg	0,07705	0,07705
	PVC (WEICH)	Hg	0,06456	0,06456
	HAEMATITBETON	Hg	0,05744	0,05744
	BRUCIT-PULVER TS	Hg	0,00000	0,03689
	SCHUTZFLUID TS	Hg	0,00000	0,02297
	PZ-OELSCHIEFERSTEIN	Hg	0,00720	0,00720
	CHEMIEGIPS TS	Hg	0,00069	0,00069
	SALZKONZENTRAT TS	Hg	0,00010	0,00010
	Summe		1,12019	3,32268
<b>Liste I, lfd. Nr. 6</b>				
Cadmium und Cadmiumverbindungen				
	VDK I SALZ TS	Cd	17,16056	17,16056
	ZINK	Cd	15,73211	15,73211
	BRUCIT-GRANULAT TS	Cd	0,00000	10,71319
	VDK KFA SALZ TS	Cd	6,42051	6,42051
	PULVERHARZ TS	Cd	4,37218	4,37218
	PORTLANDZEMENTSTEIN	Cd	3,41862	3,41862
	VDK F SALZ TS	Cd	1,43295	1,43295
	PORTL.ZEMENTMOERTEL	Cd	1,34666	1,34666
	NORMALBETON	Cd	1,32235	1,32235
	KUGELHARZ TS	Cd	0,84748	0,84748
	VDK U SALZ TS	Cd	0,73848	0,73848
	HAEMATITBETON	Cd	0,38293	0,38293
	SALZE KFA TS	Cd	0,34249	0,34249
	KUNSTSTOFFE	Cd	0,33499	0,33499

GRUNDWASSER-GEFÄHRDENDE STOFFE	KOMPONENTE	PARAMETER	MASSE IM ABFALLINVENTAR [kg]	MASSE IM GESAMTINVENTAR [kg]
	PVC (WEICH)	Cd	0,28070	0,28070
	BRUCIT-PULVER TS	Cd	0,00000	0,18445
	BITUMEN	Cd	0,06092	0,06092
	SALZKONZENTRAT TS	Cd	0,05722	0,05722
	PZ-OELSCHIEFERSTEIN	Cd	0,05189	0,05189
	SCHUTZFLUID TS	Cd	0,00000	0,03828
	ZIRCALOY 2	Cd	0,01791	0,01791
	CHEMIEGIPS TS	Cd	0,00415	0,00415
	TORF TS	Cd	0,00039	0,00039
	TIERKOERPER TS	Cd	0,00019	0,00019
	Summe		54,32567	65,26159
<b>Liste I, lfd. Nr. 7</b>				
Mineralöle und Kohlenwasserstoffe [14]				
	OEL (C10H22)	→	52.577,70629	52.577,70629
	PARAFFIN	→	1.951,18759	1.951,18759
	Summe		54.528,89389	54.528,89389
<b>Liste I, lfd. Nr. 8</b>				
Cyanide				
	FE4[FE(CN)6]3	→	1.049,41554	1.049,41554
<b>Liste II, lfd. Nr. 1</b>				
Metalle, Metalloide und ihre Verbindungen				
	AG	→	437,96334	461,28969
	AS	→	496,39074	794,49488
	B	→	49.984,39523	53.608,08953
	BA	→	54.329,13586	54.331,46850
	BE	→	11,40454	15,91670
	CO	→	4.103,94475	4.103,94475
	CR	→	25.756,03528	25.830,87076
	CU	→	856.808,77571	856.899,31648
	MO	→	887,60276	1.236,04148
	NI	→	22.214,06799	22.235,93982
	PB	→	14.771,84964	14.881,13223
	SB	→	1.371,85914	1.512,49958
	SE	→	2,44791	149,70128
	SN	→	9.828,69205	10.041,79160
	TE	→	1,62769	270,08859
	TI	→	37.761,01699	37.870,00724
	TL	→	3,26707	3,26707
	U	→	67,05166	102.529,31343
	V	→	1.039,96897	1.039,96897
	ZN	→	232.293,36893	232.644,65048
	Summe		1.312.170,86625	1.420.459,79305
<b>Liste II, lfd. Nr. 2</b>				
Biozide				
	PHB-METHYLESTER	→	116,96732	116,96732
<b>Liste II, lfd. Nr. 3</b>				
Stoffe, die den Geschmack oder Geruch von Wasser beeinträchtigen [17, 26]				
	OEL (C10H22)	→	52.577,70629	52.577,70629

GRUNDWASSER-GEFÄHRDENDE STOFFE	KOMPONENTE	PARAMETER	MASSE IM ABFALLINVENTAR [kg]	MASSE IM GESAMTINVENTAR [kg]
	KEROSIN R.V. (DODECAN)	→	15.776,76952	15.776,76952
	CACO3	CO3	512.522,33816	714.268,65845
	MGCO3	CO3	99,25914	128.786,58574
	CO3	CO3	0,00000	764,77446
	HCO3	CO3	0,00000	7,52894
	BASO4	SO4	17.243,61818	17.243,61818
	K2SO4	SO4	0,00000	8,13076
	MGSO4	SO4	0,00000	2.434.736,86303
	CASO4	SO4	535.925,60848	535.925,60848
	NA2SO4	SO4	56.300,59251	56.300,59251
	SULFAMINSAEURE	SO4	4,97177	4,97177
	SO4	→	7.113,61437	7.113,61437
	SO3	SO4	1.227,60365	1.227,60365
	AL	→	1.766.293,79815	1.770.179,29634
	CA	→	7.825.393,39092	7.980.037,26158
	CL	→	223.578,70590	23.835.279,58825
	CU	→	856.808,77571	856.899,31648
	FE	→	24.305.309,17711	24.343.715,81794
	K	→	484.470,90500	946.677,48789
	MG	→	154.487,56102	16.640.797,47474
	MN	→	72.194,96286	76.050,02860
	NA	→	955.545,77523	1.637.598,86403
	ZN	→	232.293,36893	232.644,65048
	Summe		38.075.168,50289	82.284.622,81246
<b>Liste II, lfd. Nr. 4</b>				
Giftige oder langlebige organische Siliziumverbindungen				
	POLYDIMETHYLSILOXANE	→	2.162,00936	2.162,00936
	SI-KAUTSCHUK	→	59.344,49864	59.344,49864
	Summe		61.506,50800	61.506,50800
<b>Liste II, lfd. Nr. 5</b>				
Anorganische Phosphorverbindungen				
	ALPO4	PO4	101,06890	101,06890
	CA10(PO4)6(OH)2	PO4	336,42499	336,42499
	CA3(PO4)2	PO4	5,13849	5,13849
	CRPO4	PO4	362,25317	362,25317
	FEPO4	PO4	7.456,68227	7.456,68227
	K4P2O7	PO4	48,12730	48,12730
	NA-HEXAMETAPHOSPHAT	PO4	483,89972	483,89972
	NA-PYROPHOSPHAT	PO4	1.855,64847	1.855,64847
	NA2HPO4	PO4	14.340,65667	14.340,65667
	NA5-TRIPOLYPHOSPHAT	PO4	9.967,35259	9.967,35259
	PO4	PO4	6.297,21124	13.713,30211
	P2O5	PO4	21.970,36356	21.970,36356
	ZN3(PO4)2	PO4	1.444,50060	1.444,50060
	Summe		64.669,32797	72.085,41884
<b>Liste II, lfd. Nr. 6</b>				
Organische und anorganische Fluorverbindungen				
	BRUCIT-GRANULAT TS	F	0,00000	5.099,47749

GRUNDWASSER-GEFÄHRDENDE STOFFE	KOMPONENTE	PARAMETER	MASSE IM ABFALLINVENTAR [kg]	MASSE IM GESAMTINVENTAR [kg]
	BRUCIT-PULVER TS	F	0,00000	99,60252
	CAF2	F	892,11327	892,11327
	CHEMIEGIPS TS	F	19,38762	19,38762
	HAEMATITBETON	F	670,12297	670,12297
	NAF	F	1.232,25571	1.232,25571
	NORMALBETON	F	2.314,12092	2.314,12092
	PORTL.ZEMENTMOERTEL	F	2.356,65639	2.356,65639
	PORTLANDZEMENTSTEIN	F	5.982,58488	5.982,58488
	PZ-OELSCHIEFERSTEIN	F	70,36176	70,36176
	SALZE KFA TS	F	17,99404	17,99404
	SALZKONZENTRAT TS	F	944,34274	944,34274
	SCHUTZFLUID TS	F	0,00000	15, 31080
	TIERKOERPER TS	F	0,00996	0,00996
	VDK F SALZ TS	F	75,28535	75,28535
	VDK I SALZ TS	F	901,59509	901,59509
	VDK KFA SALZ TS	F	337,32579	337,32579
	VDK U SALZ TS	F	38,79872	38,79872
	VERMICULIT TS	F	2,75471	2,75471
	PTFE	F	4.778,92180	4.778,92180
	PVC (GRANULAT)	F	61,61426	61,61426
	Summe		20.696,24598	25.910,63679
<b>Liste II, lfd. Nr. 7</b>				
Ammoniak, Ammoniakverbindungen und Nitrite				
Ammoniak und Ammoniakverbindungen	NH4	NH4	36.348,82294	38.016,66009
	NH4CL	NH4	557,20372	557,20372
	-N(CH3)3	NH4	4.025,46878	4.025,46878
	(NH4)2HC6H5O7	NH4	47,26030	47,26030
	FE(NH4)-EDTA	NH4	2,30588	2,30588
	Summe		40.981,06163	42.648,89878
Nitrite	SALZKONZENTRAT TS	NO2	8.159,88555	8.159,88555
	BRUCIT-GRANULAT TS	NO2	0,00000	18,64095
	BRUCIT-PULVER TS	NO2	0,00000	0,19921
	SCHUTZFLUID TS	NO2	0,00000	4,59324
	Summe		8.159,88555	8.183,31894

#### 5.4 Massen der chemotoxischen Stoffe

Neben den in der Liste I und II GrWV genannten Stofffamilien und Stoffgruppen konnten aus den im ANHANG A.1 genannten Unterlagen chemotoxische Stoffe quantifiziert werden, die ebenfalls für die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen herangezogen werden (s. Kapitel 3.2). Ergänzende Literatur zur Toxizität, Mutagenität, Karzinogenität und Teratogenität chemischer Stoffe ist bereits in der Tabelle 5-7 (Liste I, lfd. Nr. 4 „Stoffe, die im oder durch Wasser krebserregende, mutagene oder teratogene Wirkung haben [17, 21 - 25]“ aufgeführt.

Die Genauigkeit der Massenangaben mit 5 Stellen nach dem Komma in den Tabellen 5-7, 5-8 und 5-9 dient vornehmlich der Qualitätskontrolle und der Vergleichbarkeit der Angaben in den Anhängen. Die Bandbreite des Inventars mit seinen Materialien, Komponenten und Elementen wird in Kapitel 6 dargestellt.

#### 5.4.1 Massen der organischen chemotoxischen Stoffe

Von den neun Verbindungsklassen der Liste organisch chemotoxischer Stoffe konnten nur Stoffe aus den Verbindungsklassen 7 und 8 zugeordnet werden (Tabelle 5-8); ihre Massen können ANHANG B.3 (Komponenteninventar) entnommen werden. Da die Versatzstoffe und die Uran-, Thorium- und Plutonium-Oxide keine Chelat-/Komplexbildner und Tenside enthalten, bleiben deren Massenanteile im Gesamtinventar unverändert gegenüber dem Abfallinventar. Die Stoffe der übrigen Klassen befinden sich nicht im Abfall- und Gesamtinventar der Schachanlage Asse.

Tabelle 5-8: Massenanteile organisch chemotoxischer Stoffe im Abfall- und Gesamtinventar

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

#### 5.4.2 Massen der anorganischen chemotoxischen Stoffe

Von den im Inventar der Schachanlage Asse vorkommenden anorganisch chemotoxischen Stoffen entfallen die meisten auf die in Liste II Punkt 1 der GrWV genannten Metalloide, Metalle und ihre Verbindungen. Unabhängig davon sind alle anorganisch chemotoxischen

Stoffe, die sich im Abfall- und Gesamtinventar der Schachtanlage Asse befinden, in der Tabelle 5-9 aufgeführt.

Im Abfallinventar wurde das Element Uran als anorganisch chemotoxischer Stoff nur als Spurenelement in zementhaltigen Fixierungsmitteln und Abfällen sowie in den Abfallbehältern aus Beton mit insgesamt ca. 67 kg berücksichtigt. Im Gesamtinventar wurde darüber hinaus der Massenanteil von ca. 102 Mg an elementarem Uran aus [1] bilanziert.

Da die Radiotoxizität von Thorium und Plutonium deutlich höher ist als deren Chemotoxizität, gehören sie nicht in die Liste der chemotoxischen Stoffe sondern in die Liste der radiotoxischen Stoffe. Dagegen übersteigt bei Uran die Chemotoxizität deutlich die Radiotoxizität, d. h. Uran gehört in die Liste der chemotoxischen Stoffe. Deshalb finden sich in der Fachliteratur und den Regelwerken für Trinkwasser/Grundwasser auch nur beim Uran Grenzwerte für dessen Chemotoxizität [17]. Für Thorium und Plutonium sind keine chemotoxischen Grenzwerte bekannt. Im Rahmen des Langzeitsicherheitsnachweises wird jedoch ihre radiologische Toxizität ermittelt.

Die Erhöhung der jeweiligen Massenanteile der anorganisch chemotoxischen Stoffe im Gesamtinventar, verglichen mit den Massenanteilen im Abfallinventar, ist auf den Beitrag der noch einzubringenden Versatzstoffe (Schutzfluid, Brucit-Granulat und Brucit-Pulver) und der Massenanteile an elementarem Uran aus den oxydischen Verbindungen zusätzlich zum vorhandenen Abfallinventar zurückzuführen, wie aus Tabelle 5-9 ersichtlich ist.

Tabelle 5-9: Massenanteile anorganisch chemotoxischer Stoffe im Abfall- und Gesamtinventar

ANORGANISCH CHEMOTOXISCHE STOFFE	MASSE IM ABFALLINVENTAR [kg]	MASSE IM GESAMTINVENTAR [kg]
Ag	437,96334	461,28969
As	496,39074	794,49488
B	49.984,39523	53.608,08953
Ba	54.329,13586	54.331,46850
Be	11,40454	15,91670
Bi	336,85514	894,52841
Cd	54,32567	65,26159
Cyanide Gesamt	1.049,41554 (CN-Anteil: 571,97319)	1.049,41554 (CN-Anteil: 571,97319)
Co	4.103,94475	4.103,94475
Cr Gesamt	25.756,03528	25.830,87076
Cr (VI)	20,83446	25,64566
Cu	856.808,77571	856.899,31648
Hg	1,12019	3,32268
Mo	887,60276	1.236,04148
Ni	22.214,06799	22.235,93982
Pb	14.771,84964	14.881,13223
Sb	1.371,85914	1.512,49958
Se	2,44791	149,70128
Sn	9.828,69205	10.041,79160
Te	1,62769	270,08859
Ti	37.761,01699	37.870,00724
Tl	3,26707	3,26707
U	67,05166 (als Spurenelementanteile U)	102.529,31343
V	1.039,96897	1.039,96897
Zn	232.293,36893	232.644,65048

## 6 Bandbreite des Gesamtinventars

Die Bandbreite des Abfallinventars ist in [4] ausführlich beschrieben. Nach [4] kann die maximale Bandbreite der Eingangsdaten von  $\pm 50\%$  für die Materialien, Komponenten und Elemente im Abfallinventar nicht überschritten werden. Bei einer Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen werden daher diese Massenanteile am Gesamtinventar unter Beachtung einer maximalen oberen Bandbreite von  $+ 50\%$  betrachtet.

Die Massen der Uran-, Thorium- und Plutonium-Oxide wurden aus dem Aktivitätsinventar zum Nachweis der Langzeitsicherheit berechnet [1] und sind damit an der oberen Grenze abgeschätzt. Daher werden für die Massen der Uran-, Thorium- und Plutonium-Oxide keine Bandbreiten unterstellt.

Die noch einzubringenden festen Versatzstoffe (Brucit-Granulat, Brucit-Pulver) unterliegen bei der Anlieferung und beim Einbringen in die Einlagerungskammern bzw. -bereiche Kontrollen, welche neben der genauen Erfassung der chemischen Zusammensetzung auch die Erfassung der Massen bzw. Mengen gewährleistet. Die Ermittlung der v. g. Versatzstoffe unterliegt jedoch gewissen Unsicherheiten, die sich aus den jeweiligen Hohlraumvolumina und dem eingebrachten Versatz ableiten lassen. Diese Abschätzungen zeigen, dass für die noch einzubringenden festen Versatzstoffe eine obere Bandbreite von  $+ 50\%$  nicht überschritten wird. Bei einer Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen werden daher diese Massenanteile am Gesamtinventar unter Beachtung einer maximalen oberen Bandbreite von  $+ 50\%$  betrachtet.

Beim noch einzubringenden Schutzfluidanteil wird keine Bandbreite berücksichtigt, weil die Masse des eingebrachten Schutzfluides keinen Einfluss auf die Konzentrationen der Wasserinhaltsstoffe im Schutzfluid hat. Die charakteristische chemische Zusammensetzung des Schutzfluides selbst erfordert an dieser Stelle keine Berücksichtigung einer Konzentrationsbandbreite des Schutzfluides.

## **7 Gesamtinventar an chemischen und chemotoxischen Stoffen für die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen**

Die in [4] abgeschätzten Massen der Materialien der Abfallgebinde wurden um die Massen der Uran-, Thorium- und Plutonium-Oxide sowie der noch einzubringenden Versatzstoffe ergänzt. Aus diesen Ergebnissen erfolgte die Ermittlung der Massen der chemischen Komponenten (Verbindungen) und Elemente. Der gewählte Ansatz führt zu einem bestmöglichen realistischen Gesamtinventar.

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 in diesem Bericht ermittelten Massenanteile werden für die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen herangezogen.

## 8 Modellbetrachtungen zur Ermittlung eines Quellterms für alle wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe des Gesamtinventars der Schachanlage Asse

### 8.1 Grundlagen für die Ermittlung des Quellterms

Die Ermittlung eines Quellterms für wasserrechtlich relevante chemische und chemotoxische organische und anorganische Stoffe erfolgte auf der Grundlage des Gesamtinventars für jeden einzelnen der sechs Einlagerungsbereiche, die sich aus einer oder mehreren Einlagerungskammern zusammensetzen. Bei dem hier unterstellten langfristigen Zeithorizont wurde das Gesamtinventar dem Lösungsvorgang im Schutzfluid (Wasseranteil) unterworfen.

Um die wasserrechtlichen Bestimmungen auf deren Einhaltung prüfen zu können, war ein Quellterm für alle grundwasserrelevanten Stoffe zu ermitteln. Der Quellterm umfasst die grundwassergefährdenden Stoffe (Liste I und II der GrWV [9]) und darüber hinaus organische und anorganische chemotoxische Stoffe, für die in der Vergangenheit bereits einschlägige Vorschriften erlassen worden sind. Die grundwassergefährdenden und chemotoxischen Stoffe wurden qualitativ identifiziert und ihre quantitativen Anteile am Gesamtinventar der Schachanlage Asse bestimmt (s. Tabelle 5-7, 5-8, 5-9).

Aus dem gesamten Lösungsvolumen von  $76.554 \text{ m}^3$  und einer Lösungsdichte von  $1,311 \text{ Mg/m}^3$  lässt sich die Masse des gesamten Schutzfluides zu  $100.362 \text{ Mg}$  berechnen. Für Lösungsvorgänge des Gesamtinventars von ca.  $212.181 \text{ Mg}$  im Schutzfluid wurde hier allein der reine Wasseranteil von  $65,45 \text{ Ma.-%}$  des Schutzfluides zugrundegelegt, d. h. kumulativ  $65.688 \text{ Mg} = 65.688 \text{ m}^3$  Wasser. Je nach Einlagerungsbereich unterscheiden sich die Massen an Schutzfluid, deren Wasseranteil beim jeweiligen Inventar der Einlagerungsbereiche für Lösungsvorgänge zur Verfügung steht (s. Tabelle 8-1). Aus Tabelle 8-2 können die Massen aller wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe pro Einlagerungsbereich entnommen werden.

Tabelle 8-1: Massenanteile des Gesamtinventars inkl. Angabe des dazugehörigen Lösungsvolumens (Wasseranteil)

EINLAGERUNGS- BEREICHE	EINLAGERUNGSKAMMERN	MASSE IM GESAMTINVENTAR [Mg]	LÖSUNGSVOL (nur Wasseranteil) [m <sup>3</sup> ]
MAW	8a/511	913	119
LAW1A	2/750Na2	48.237	19.716
LAW1B	7/725Na2	28.649	13.610
LAW2	4/750, 8/750, 10/750	31.991	11.088
LAW3	5/750, 6/750, 7/750, 11/750	75.621	17.114
LAW4	1/750, 2/750, 12/750	26.770	4.041
<b>Gesamtinventar:</b>		<b>Σ 212.181</b>	<b>Σ 65.688</b>

Tabelle 8-2: Massen aller wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe pro Einlagerungsbereich (ELB), in kg

WASSER-INHALTSSTOFF (PARAMETER)	MAW [kg]	LAW1A [kg]	LAW1B [kg]	LAW2 [kg]	LAW3 [kg]	LAW4 [kg]
ANORGANIKA:						
Ag	0,29	18,20	7,65	162,85	213,56	58,74
Al	6.986,55	236.549,62	45.837,55	147.731,60	1.052.701,57	280.372,41
As	1,34	61,59	61,25	364,31	164,77	141,22
B	15,26	15.951,72	2.433,71	8.794,64	14.058,86	12.353,90
Ba	218,06	12.501,54	3.039,97	8.363,14	17.922,23	12.286,53
Be	0,07	2,02	1,07	2,31	7,24	3,21
Bi	2,82	208,39	121,20	130,19	340,57	91,36
BrO <sub>3</sub>	0,14	25,02	20,02	18,87	21,53	12,76
Ca	43.350,67	1.099.388,50	176.192,37	777.184,28	4.735.956,76	1.147.964,69
Cd	0,11	17,66	4,79	19,74	10,98	11,99
Cl	41.393,03	6.990.264,45	4.890.859,27	4.093.283,53	6.054.109,33	1.765.369,98
CN GESAMT	0,00	12,60	0,00	211,72	292,89	54,77
Co	21,24	982,14	177,89	807,66	1.463,06	651,96
Cr	70,25	7.938,27	984,90	5.454,97	6.835,78	4.546,70
Cr (VI)	0,13	4,27	1,37	2,82	13,79	3,28
Cs	1,39	95,68	78,53	105,35	175,78	117,77
Cu	14.522,74	261.655,21	71.868,74	143.459,39	171.837,42	193.555,82
F	134,20	4.424,43	1.598,03	4.471,17	9.108,61	6.174,20
Fe	398.131,53	6.671.021,40	1.652.914,75	3.240.847,68	9.726.248,52	2.654.551,94
Hg	5,69E-03	0,38	0,45	0,71	0,78	1,00
K	2.571,72	193.761,40	106.362,82	109.899,56	444.713,65	89.368,33
Li	11,90	849,13	249,64	480,25	1.735,96	523,48
Mg	14.965,59	3.216.349,10	3.279.977,26	3.695.200,91	2.763.429,89	3.670.874,74
Mn	1.167,47	21.776,71	5.682,24	11.707,92	25.120,82	10.594,87
Mo	28,04	115,59	71,19	194,78	540,55	285,90
Na	14.621,66	318.284,55	162.444,76	207.949,31	722.534,03	211.764,56
NH <sub>4</sub>	50,74	12.248,34	1.273,37	6.273,22	14.686,54	8.116,69
Ni	148,48	6.355,41	985,16	4.128,49	6.612,09	4.006,32
NO <sub>2</sub>	8,28E-03	2.940,02	232,35	1.280,38	2.168,49	1.562,07
NO <sub>3</sub>	29.636,60	39.862,23	6.198,94	91.291,21	328.794,22	181.537,68
Pb	22,54	1.355,05	241,04	3.543,53	3.889,72	5.829,26
PO <sub>4</sub>	690,32	15.689,51	3.152,00	11.223,30	30.182,67	14.564,34
Rb	22,49	880,60	387,86	655,45	2.494,29	732,84
Sb	2,51	389,17	54,45	213,26	557,63	295,48
Se	0,08	22,04	28,76	36,46	19,39	42,97

WASSER- INHALTSSTOFF (PARAMETER)	MAW [kg]	LAW1A [kg]	LAW1B [kg]	LAW2 [kg]	LAW3 [kg]	LAW4 [kg]
SiO <sub>2</sub>	88.931,91	3.325.306,42	778.436,72	1.902.615,02	18.892.294,70	3.704.010,08
Sn	261,65	2.712,15	712,34	1.525,43	2.745,29	2.084,92
SO <sub>4</sub>	7.634,70	818.188,81	516.635,33	486.126,88	986.566,24	255.534,46
Te	0,02	26,80	51,34	72,76	21,85	97,31
Ti	192,45	7.419,58	1.279,45	6.474,16	15.212,25	7.292,12
Tl	0,02	0,45	0,06	0,32	1,96	0,46
U	152,30	21.685,73	7.886,08	46.121,08	1.434,63	25.249,48
V	11,26	142,48	19,41	95,85	620,26	150,70
Zn	3.586,58	70.132,59	18.102,74	40.179,99	47.821,62	52.821,13
ORGANIKA:						
ANT	0,00	2.011,31	138,73	890,02	1.922,58	1.159,11
ANT+NIT	284,32	6.031,05	445,22	3.333,57	8.350,40	4.941,36
AOX	7,77E-03	1,29	0,89	0,73	1,12	0,27
BTEX G	0,64	375,22	29,02	664,11	340,21	345,42
DOC G	38.855,20	912.547,90	279.759,13	529.913,11	812.337,05	949.443,13
EDTA/-SALZE	1,87	1,00	0,19	5,00	20,05	8,80
LHKW G	0,33	201,49	40,39	640,08	181,06	222,68
MINER.ÖL-KW	0,00	7.195,67	2.687,93	10.454,73	13.105,33	21.085,23
NIT	284,32	4.019,74	306,49	2.443,55	6.427,81	3.782,25
OCLV G	0,33	201,49	40,39	640,08	181,06	222,68
SOS G	48.215,62	1.812.627,72	563.451,08	1.027.008,63	1.394.196,86	1.783.916,05

Für Löslichkeitsbetrachtungen der wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe wurden die von FZK-INE mitgeteilten kammer-spezifischen pH-Werte [8] berücksichtigt [5]. Für jeden Einlagerungsbereich wurde nur ein pH-Wert zum Ansatz gebracht, wobei für jeden Einlagerungsbereich mit mehr als einer Einlagerungskammer der jeweils niedrigste kammer-spezifische pH-Wert als repräsentativ für den jeweiligen Einlagerungsbereich angenommen wurde. Der von FZK-INE mitgeteilte minimale pH-Wert von 3,7 in der Einlagerungskammer 2/750Na2 im Einlagerungsbereich LAW1A wird sich durch Pufferung bei Austritt der Lösung in den mit Brucit-Granulat verfüllten Nahbereich auf mindestens pH 6,4 erhöhen. Dieser pH-Wert stellt sich mindestens ein bei Einlagerungskammern, deren Milieu durch Brucit-Granulat bestimmt wird, wie z.B. die Einlagerungskammern 8/750 und 10/750. Der von FZK-INE mitgeteilte maximale pH-Wert von 10 für die Einlagerungskammern 6/750 und 11/750 des Einlagerungsbereichs LAW3 wirkt für die meisten zu betrachtenden Stoffe löslichkeitsbegrenzend. Die Stoffe, deren Löslichkeiten sich bei diesem pH Wert erhöhen (Al SiO<sub>2</sub>) bzw. deren Löslichkeiten bereits abdeckend erfasst sind (Be, V), werden in diesem Bericht genannt. In aller Regel wurde damit ein auf der sicheren Seite liegender pH-Wert für die Löslichkeitsbetrachtungen der Wasserinhaltsstoffe gewählt. Es ergibt sich ein zu betrachtender Bereich zwischen pH 6,4 und 8,5.

Basierend auf dem Inventar aller Einlagerungsbereiche und den jeweiligen Lösungsvolumina (Wasseranteil des Schutzfluides) wird im Folgenden die Ermittlung der Konzentrationen für alle wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe im Gesamtinventar dargestellt.

## 8.2 Vorgehensweise bei der Ermittlung des Quellterms

Bei der Ermittlung eines realistischen Quellterms für wasserrechtlich relevante chemische und chemotoxische Stoffe wurden alle bekannten Effekte, die eine Löslichkeitsänderung im geochemischen Milieu der Schachtanlage Asse bewirken können, qualitativ und quantitativ berücksichtigt.

Im ersten Schritt (Kapitel 8.2.1) wurde dabei die hypothetische vollständige Lösung der wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe im angebotenen Wasseranteil im Schutzfluid unterstellt. Durch diese Vorgehensweise wurden maximale Konzentrationen der betreffenden Wasserinhaltsstoffe im Wasser ermittelt.

In einem zweiten Schritt (Kapitel 8.2.2) wurde die Löslichkeit der Stoffe in reinem Wasser ermittelt. Die Stoffe, die aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften mit dem Wasser schwer lösliche Verbindungen oder keine bzw. vernachlässigbare Chlorokomplexe unter assespezifischen Bedingungen bilden können, wurden ebenfalls dargestellt und diskutiert.

Im letzten Schritt (Kapitel 8.2.3) wurden die Stoffe betrachtet, deren reale Löslichkeit in  $MgCl_2$ -reichen Salzlösungen auf Ergebnissen von Experimenten basieren. Darüber hinaus wurden die Stoffe diskutiert, die Reaktionen mit den Bestandteilen des Schutzfluides eingehen.

### 8.2.1 Hypothetische vollständige Lösung aller wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe

Im ersten Schritt wurde hypothetisch unterstellt, dass jeder grundwasserrelevante Stoff pro Einlagerungsbereich (ELB) und im angebotenen Lösungsvolumen (reiner Wasseranteil des Schutzfluides) sich vollständig auflöst. Die so ermittelten Konzentrationen sind als Maximalkonzentrationen zu betrachten, da keine Löslichkeitsbegrenzungen der Stoffe unterstellt wurden. Aus der Tabelle 8-3 sind die Maximalkonzentrationen bei einer hypothetischen vollständigen Lösung aller wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe zu entnehmen.

Diese sehr konservative (d. h. weit auf der sicheren Seite liegende) Annahme bedeutet zunächst, dass in dieser „Lösung“ ca. 69,1 Ma.-% gelöste Feststoffe und 30,9 Ma.-% Wasseranteil vorliegen (s. Massenverhältnisse in Tabelle 8-1). Es gibt nur wenige Feststoffe, die im Wasser vergleichbar konzentrierte (Salz-)Lösungen bilden, z. B. die Anorganika  $ZnCl_2$  mit ca. 78 Ma.-%,  $NH_4NO_3$  mit ca. 66 Ma.-%,  $CsCl$  mit ca. 65 Ma.-% und die Organika Harnstoff  $(NH_2)_2CO$  mit ca. 52 Ma.-% bzw. Weinsäure mit ca. 58 Ma.-%.

Beim Gesamtinventar handelt es sich um ein komplexes Vielstoffsystem, bei dem nicht nur leicht lösliche Stoffe vorkommen, sondern auch schwer lösliche Stoffe. In diesem Schritt wurde konservativ die vollständige Löslichkeit der einzelnen Stoffe unabhängig von ihrer realen Löslichkeit unterstellt.

Tabelle 8-3: Konzentrationen aller wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe pro Einlagerungsbereich (ELB) bei hypothetischer vollständiger Lösung (100 %) in reinem Wasser entsprechend dem Wasseranteil des Schutzfluides, in mg/L

WASSER-INHALTSSTOFF (PARAMETER)	MAW [mg/L]	LAW1A [mg/L]	LAW1B [mg/L]	LAW2 [mg/L]	LAW3 [mg/L]	LAW4 [mg/L]
ANORGANIKA:						
Ag	2,4227	0,9233	0,5624	14,6872	12,4788	14,5334
Al	59.002,1511	11.998,1154	3.367,8100	13.323,7899	61.511,3619	69.374,2801
As	11,3568	3,1241	4,5000	32,8572	9,6279	34,9439
B	128,8687	809,0927	178,8114	793,1811	821,4860	3.056,8024
Ba	1.841,5337	634,0948	223,3552	754,2647	1.047,2300	3.040,1320
Be	0,5507	0,1026	0,0788	0,2081	0,4228	0,7951
Bi	23,8247	10,5697	8,9045	11,7414	19,9004	22,6070
BrO <sub>3</sub>	1,1654	1,2690	1,4708	1,7023	1,2583	3,1585
Ca	366.100,9258	55.762,4670	12.945,3340	70.093,6033	276.730,9936	284.048,0017
Cd	0,9363	0,8955	0,3517	1,7801	0,6417	2,9665
Cl	349.568,4222	354.555,6389	359.344,7766	369.169,8335	353.753,1647	436.816,4095
CN GESAMT	0,0000	0,6392	0,0000	19,0945	17,1140	13,5512
Co	179,4032	49,8154	13,0701	72,8420	85,4892	161,3177
Cr	593,2805	402,6398	72,3632	491,9795	399,4276	1.125,0179
Cr (VI)	1,0726	0,2163	0,1008	0,2543	0,8056	0,8105
Cs	11,7309	4,8531	5,7695	9,5017	10,2711	29,1410
Cu	122.646,0372	13.271,5048	5.280,3921	12.938,4834	10.040,7886	47.892,7134
F	1.133,2941	224,4129	117,4117	403,2512	532,2336	1.527,7208
Fe	3.362.262,39	338.363,2005	121.444,1573	292.289,3540	568.323,2672	656.832,1997
Hg	0,0480	0,0192	0,0327	0,0641	0,0455	0,2485
K	21.718,4460	9.827,8396	7.814,7670	9.911,7502	25.985,4675	22.112,9577
Li	100,5015	43,0693	18,3420	43,3137	101,4355	129,5275
Mg	126.385,9741	163.137,5631	240.988,8792	333.267,0937	161.472,4833	908.307,2335
Mn	9.859,3676	1.104,5440	417,4899	1.055,9277	1.467,8574	2.621,5549
Mo	236,7682	5,8627	5,2308	17,5671	31,5853	70,7412
Na	123.481,4399	16.143,8215	11.935,2597	18.754,7748	42.219,0426	52.398,2144
NH <sub>4</sub>	428,4796	621,2525	93,5580	565,7763	858,1623	2.008,3638
Ni	1.253,8891	322,3551	72,3822	372,3451	386,3568	991,3081
NO <sub>2</sub>	0,0699	149,1219	17,0712	115,4766	126,7091	386,5119
NO <sub>3</sub>	250.284,1695	2.021,8660	455,4527	8.233,4786	19.212,0740	44.918,9917
Pb	190,3314	68,7301	17,7095	319,5879	227,2837	1.442,3694
PO <sub>4</sub>	5.829,7972	795,7929	231,5858	1.012,2199	1.763,6312	3.603,7454
Rb	189,9314	44,6654	28,4975	59,1145	145,7459	181,3310
Sb	21,1971	19,7392	4,0003	19,2339	32,5836	73,1122
Se	0,7002	1,1176	2,1131	3,2885	1,1331	10,6324
SiO <sub>2</sub>	751.039,2436	168.664,0255	57.193,8699	171.595,2643	1.103.912,84	916.506,1171

WASSER- INHALTSSTOFF (PARAMETER)	MAW [mg/L]	LAW1A [mg/L]	LAW1B [mg/L]	LAW2 [mg/L]	LAW3 [mg/L]	LAW4 [mg/L]
Sn	2.209,6750	137,5641	52,3378	137,5771	160,4126	515,8856
SO <sub>4</sub>	64.475,8190	41.499,6397	37.958,6074	43.843,3790	57.646,9488	63.228,4702
Te	0,1949	1,3595	3,7724	6,5619	1,2768	24,0780
Ti	1.625,2628	376,3309	94,0048	583,8992	888,8807	1.804,3343
Tl	0,1567	0,0227	0,0043	0,0286	0,1148	0,1139
U	1.286,2269	1.099,9295	579,4121	4.159,6222	83,8284	6.247,6339
V	95,1213	7,2269	1,4262	8,6450	36,2428	37,2887
Zn	30.289,0742	3.557,2196	1.330,0580	3.623,7995	2.794,3085	13.069,8579
ORGANIKA:						
ANT	0,0000	102,0164	10,1931	80,2704	112,3403	286,8056
ANT+NIT	2.401,0940	305,9032	32,7117	300,6517	487,9297	1.222,6717
AOX	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656
BTEX G	5,4263	19,0316	2,1324	59,8953	19,8789	85,4702
DOC G	328.136,1894	46.285,6602	20.554,6666	47.792,4225	47.466,4043	234.926,5846
EDTA/-SALZE	15,8144	0,0506	0,0138	0,4512	1,1717	2,1779
LHKW G	2,7897	10,2199	2,9676	57,7281	10,5798	55,0983
MINER.ÖL-KW	0,0000	364,9740	197,4898	942,9034	765,7693	5.217,2495
NIT	2.401,0940	203,8868	22,5186	220,3813	375,5894	935,8661
OCLV G	2,7897	10,2199	2,9676	57,7281	10,5798	55,0983
SOS G	407.185,9385	91.938,9219	41.398,2886	92.625,0532	81.465,5837	441.405,3779

## 8.2.2 Reale Löslichkeit von wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffen in reinem Wasser

In Kapitel 8.2.1 wurde eine hypothetische vollständige Lösung der wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe im angebotenen Wasseranteil des Schutzfluides unterstellt. Hierbei können sich aufgrund des jeweils vorhandenen Inventars der Stoffe maximale Konzentrationen der Wasserinhaltsstoffe in den einzelnen Einlagerungsbereichen einstellen, wie aus Tabelle 8-3 ersichtlich ist.

Im zweiten Schritt wurden diejenigen dieser Stoffe betrachtet, die unter den geochemischen Bedingungen in der Schachanlage Asse keine Chlorokomplexe bilden können und somit auch keine Betrachtung der Hydrolyse von Chlorokomplexen und deren Hydrolyseprodukte erforderlich ist. Hierbei handelt es sich um Be und die organischen Stoffe DOC G, MINERALÖL KW und SOS G. Für diese Stoffe wurden reale Löslichkeiten in reinem Wasser ermittelt (Tabelle 8-4). Diese konnten somit auf  $MgCl_2$ -reiche Salzlösungen übertragen und damit bei der Ermittlung des realistischen Quellterms berücksichtigt werden.

Weitere Wasserinhaltsstoffe, die unter den geochemischen Bedingungen in der Schachanlage Asse keine Chlorokomplexe bilden können, sind Ba, Mg und  $PO_4$ . Die Reaktionen dieser Stoffe mit dem Schutzfluid wirken löslichkeitsbegrenzend und werden in Kapitel 8.2.3 diskutiert.  $SiO_2$  bildet ebenfalls keine Chlorokomplexe. Hier liegen jedoch reale Konzentrationen in  $MgCl_2$ -reichen Salzlösungen vor, die auf Ergebnissen von Experimenten basieren (s. Kapitel 8.2.3).

Bei der Berechnung der Konzentrationen wurden alle Verbindungen des jeweiligen Wasserinhaltsstoffes entsprechend ihrer charakteristischen Löslichkeit in reinem Wasser berücksichtigt. Diese Vorgehensweise ist konservativ, weil die so berechneten Konzentrationen gleich oder grösser sind als die Löslichkeiten in den hochsalinaren Lösungen der Schachanlage Asse.

Die Löslichkeit der Wasserinhaltsstoffe in reinem Wasser berücksichtigt neben den Verbindungen der Stoffe im jeweiligen ELB auch den für Lösevorgänge im jeweiligen ELB zur Verfügung stehenden Wasseranteil des Schutzfluides.

Im Folgenden werden die Wasserinhaltsstoffe aufgeführt, deren Löslichkeiten aufgrund des Lösungsverhaltens in reinem Wasser vorgegeben werden (s. Tabelle 8-4). Aus diesem Grund konnte die so ermittelte Löslichkeit auf  $MgCl_2$ -reiche Salzlösungen übertragen und damit bei der Ermittlung des realistischen Quellterms berücksichtigt werden:

- As             $PbHAsO_4$  und  $Pb_4(PbOH)(AsO_4)_3$  sind wie weitere As-Verbindungen der As-haltigen Abfälle schwer löslich (LAW2). Es ist unter den geochemischen Bedingungen in der Schachanlage Asse die schwer lösliche Verbindung  $Ca_{10}(AsO_4)_6(OH)_2$  zwischen elementarem As und Ca aus zementhaltigen Materialien zu erwarten (LAW4).
- Be            Die Löslichkeit ist limitiert durch  $Be(OH)_2$  bzw.  $BeO$ , dessen pH-Wert abhängige Löslichkeit im Bereich pH 6,4 bis 8,5 berücksichtigt wurde. Die Löslichkeit von  $Be(OH)_2$  bzw.  $BeO$  beim zugrundegelegten pH 6,5 für ELB

LAW3 deckt auch deren Löslichkeit bei pH 10 ab.

- Bi Die Existenz von  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  wirkt löslichkeitsbegrenzend.
- Ca Die Auflösung der Komponenten  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaO}$  ist bei ungenügendem Wasserangebot bzw. Wasseranteil des Schutzfluides limitiert, es werden deshalb Bodenkörper der o. g. Komponenten ungelöst zurückbleiben.
- CN Gesamt Berlinerblau  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$  ist schwer löslich und als komplexes Cyanid praktisch ungiftig.  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  wird z.B. zur "Weinschönung" verwendet, um störende Fe-Anteile als Berliner Blau auszuflocken (LAW2, LAW3, LAW4).
- Co Die Löslichkeit von  $\text{Co}(\text{OH})_2$  ist limitiert (MAW, LAW2, LAW3, LAW4).
- F Die Löslichkeit von Fluorid wird durch die Löslichkeit von  $\text{CaF}_2$  limitiert.
- Na Alle im Inventar vorkommenden Na-Verbindungen sind löslich und lösen sich im Wasser und Schutzfluid vollständig auf. Einzige Ausnahme ist der Na-Anteil in der Carboxymethylcellulose-Natrium (CMC-Na), die nicht echt gelöst wird und ihren Natriumanteil nicht freisetzt, solange die CMC-Na nicht biochemisch abgebaut wird (alle LAW-ELBs).
- $\text{NH}_4$  Die quaternäre Ammoniumgruppe  $[-\text{N}(\text{CH}_3)_3](+)$  ist als funktionelle Gruppe der Anionenaustauscher unlöslich und fest in das Polymergerüst (Polystyrol-Divinylbenzol-Gerüst) des Ionenaustauschers eingebunden (MAW).
- $\text{NO}_3$   $\text{ZrO}(\text{NO}_3)_2$  hydrolysiert zu schwer löslichem Zirkoniumdioxidhydrat und lässt Bodenkörper an  $\text{ZrO}(\text{NO}_3)_2$  ungelöst zurück (MAW, LAW2, LAW3, LAW4).
- Sb Die Löslichkeit ist limitiert durch  $\text{Sb}(\text{OH})_3$ .
- Sn Die Löslichkeit ist limitiert durch  $\text{Sn}(\text{OH})_2$ .
- $\text{SO}_4$  Die Löslichkeit der Komponenten  $\text{BaSO}_4$  und  $\text{CaSO}_4$  ist gering. Die Sulfonsäuregruppe  $[-\text{SO}_3\text{H}](-)$  ist als funktionelle Gruppe der Kationenaustauscher unlöslich.
- Te Die Löslichkeit von  $\text{TeO}_2$  ist gering (LAW1B, LAW2, LAW4).
- V Die Löslichkeit von  $\text{V}_2\text{O}_5$  ist gering, Es bleiben Bodenkörper an  $\text{V}_2\text{O}_5$  ungelöst zurück. Sollte sich aufgrund der Redoxverhältnisse bei Eh-Werten von -100 mV bis +250 mV und bei pH-Werten von 6,4 bis 8,5 evtl.  $\text{V}_2\text{O}_4$  bilden, so ist dessen Löslichkeit ebenfalls gering (MAW, LAW3, LAW4). Die Löslichkeit von Vanadiumverbindungen beim zugrundegelegten pH 6,5 für ELB LAW3 deckt auch deren Löslichkeit bei pH 10 ab infolge Bildung schwerlöslicher Calciumvanadate in Anwesenheit zementhaltiger Materialien und/oder Adsorption an ausgefällten Eisenoxidhydraten.

Aus der Tabelle 8-4 können die Konzentrationen der in diesem Kapitel beschriebenen wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe je Einlagerungsbereich unter Berücksichtigung der Löslichkeit in reinem Wasser zusammenfassend entnommen werden. Die in der Tabelle 8-4 aufgeführten Konzentrationen werden im Quellterm (Tabelle 9-1) verwendet. Die übrigen Werte werden im Quellterm aus den Ergebnissen der hypothetisch vollständigen Lösung (Tabelle 8-3) oder der realen Löslichkeit in  $MgCl_2$ -reichen Salzlösungen (Tabelle 8-7) berücksichtigt.

Tabelle 8-4: Konzentrationen ausgewählter wasserrechtlich relevanter Wasserinhaltsstoffe pro Einlagerungsbereich (ELB) unter Berücksichtigung der realen Löslichkeit in reinem Wasser entsprechend dem Wasseranteil des Schutzfluides, in mg/L

WASSER-INHALTSSTOFF (PARAMETER)	MAW [mg/L]	LAW1A [mg/L]	LAW1B [mg/L]	LAW2 [mg/L]	LAW3 [mg/L]	LAW4 [mg/L]
ANORGANIKA:						
Ag	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7
Al	s. Tabelle 8-7					
As	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	31,3333	s. Tabelle 8-3	17,0000
B	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7
Ba	s. Tabelle 8-7					
Be	0,0021	s. Tabelle 8-3	0,0640	0,1532	0,0640	0,0022
Bi	8,1500	8,1500	8,1500	8,1500	8,1500	8,1500
BrO <sub>3</sub>	s. Tabelle 8-3					
Ca	s. Tabelle 8-7					
Cd	s. Tabelle 8-3					
Cl	s. Tabelle 8-7					
CN GESAMT	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	0,7631	0,7631	0,7631
Co	59,0000	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	59,0000	59,0000	59,0000
Cr	s. Tabelle 8-7					
Cr (VI)	s. Tabelle 8-3					
Cs	s. Tabelle 8-3					
Cu	s. Tabelle 8-7					
F	551,0019	15,8501	11,9419	29,5831	53,8085	101,8063
Fe	s. Tabelle 8-7					
Hg	s. Tabelle 8-3					
K	s. Tabelle 8-3					
Li	s. Tabelle 8-3					
Mg	s. Tabelle 8-7					
Mn	s. Tabelle 8-7					
Mo	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-7
Na	s. Tabelle 8-3	16.143,4688	11.935,2201	18.754,5026	42.218,7430	52.397,3035

WASSER- INHALTSSTOFF (PARAMETER)	MAW [mg/L]	LAW1A [mg/L]	LAW1B [mg/L]	LAW2 [mg/L]	LAW3 [mg/L]	LAW4 [mg/L]
NH <sub>4</sub>	32,7419	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7
Ni	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7
NO <sub>2</sub>	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3
NO <sub>3</sub>	250.230,5769	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	8.232,1568	19.208,3595	44.910,5363
Pb	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7
PO <sub>4</sub>	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7
Rb	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3
Sb	7,1800	7,1800	3,5377	7,1800	7,1800	7,1800
Se	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7
SiO <sub>2</sub>	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7
Sn	0,6292	0,4867	0,4867	0,4867	0,4867	0,5817
SO <sub>4</sub>	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7
Te	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	1,8000	1,8000	s. Tabelle 8-3	1,8000
Ti	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7
Tl	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3
U	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7
V	28,0000	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	28,0000	28,0000
Zn	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7	s. Tabelle 8-7
ORGANIKA:						
ANT	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3
ANT+NIT	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3
AOX	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3
BTEX G	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3
DOC G	6.368,5067	1.512,0591	1.117,1069	2.388,2237	1.509,6380	8.330,6515
EDTA/-SALZE	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3
LHKW G	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3
MINER.ÖL-KW	0,0000	22,1000	22,1000	22,1000	22,1000	22,1000
NIT	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3
OCLV G	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3
SOS G	28.282,5039	4.573,0424	2.946,3796	7.219,4301	6.082,7059	32.122,8010

### 8.2.3 Reale Löslichkeit von wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffen in MgCl<sub>2</sub>-reichen Salzlösungen

Um einen Quellterm für wasserrechtlich relevante chemische und chemotoxische Stoffe ermitteln zu können, wurden in den Kapiteln 8.2.1 und 8.2.2 der Vollständigkeit halber alle bekannten Effekte, die eine Löslichkeitsänderung im geochemischen Milieu der Schachanlage Asse bewirken können, qualitativ und quantitativ berücksichtigt, unabhängig davon, ob Stoffe den Grenzwert unter- bzw. überschreiten können. Dazu wurden im letzten Schritt der Quelltermbestimmung die Stoffe betrachtet, deren reale Löslichkeit in MgCl<sub>2</sub>-reichen Salzlösungen auf Ergebnissen von Experimenten basieren. Darüber hinaus werden die Stoffe diskutiert, die Reaktionen mit den Bestandteilen des Schutzfluides eingehen.

Die Löslichkeit von chemotoxischen Stoffen in hochsalinaren Lösungen wurde durch Eluattests von Abfällen untersucht. Ausgewählt wurden typische Vertreter aus Abfallschlüsseln (z. B. Filterstäube, Abgas- und Abwasserreinigung, Gipsschlämme) und solche Abfälle, die relativ hohe Schwermetallgehalte, insbesondere an Zn, Cd und Pb aufweisen, wie in [27] dargestellt. Die chemische Analyse der untersuchten Abfallproben lässt als Bestandteile Oxide / Hydroxide, Chloride, Sulfate / Sulfide, Silikate, Fluoride und Kohlenstoffverbindungen erkennen. Die Elementanalyse der Abfallproben gibt u. a. Auskunft über den Gehalt an chemischen und chemotoxischen Stoffen (u. a. Schwermetalle) und ist in [27, Tabelle 4.2 + 4.3] genannt. Analysenergebnisse der Eluattests liegen vor für: Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Ti, Zn. Verwendet wurden hier für die Eluierbarkeit von Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Ti und Zn die Werte aus Tabelle 8-5.

Weitere experimentelle Ergebnisse von Auslaug- und Korrosionsexperimenten mit simulierten zementierten Abfallprodukten an Abfallgebänden in realer Grösse über einen Zeitraum von mehr als 20 Jahren in Salzlösungen bzw. in Wasser sind in [28] dargestellt. Hier liegen Analysenergebnisse aus den Korrosionsuntersuchungen vor für: Al, Cr, Fe, Mg, SiO<sub>2</sub>, U. Verwendet wurden hier für die Eluierbarkeit von Al, Cr, Fe und SiO<sub>2</sub> die Werte aus Tabelle 8-5.

Es wurden zunächst die Stoffe betrachtet, deren Eluierbarkeiten auf den Ergebnissen von Experimenten basieren. Hierbei handelt es sich um:

Anorganische Stoffe: Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, SiO<sub>2</sub>, Ti, U, Zn.

Für die Eluierbarkeit der o. g. Wasserinhaltsstoffe Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Ti, Zn wurde jeweils der in [27] und für Al, Cr, Fe, SiO<sub>2</sub> der in [28] höchste genannte Eluatwert im vorgegebenen pH-Bereich von 6,4 bis 8,5 für die Elutionsbetrachtungen im Schutzfluid verwendet.

In der Tabelle 8-5 sind die Ergebnisse der Eluatversuche gemäss [27, Tabelle A 22] und in der Tabelle 8-6 die Eluierbarkeiten gemäss [28, Kapitel 4.3.2] unter Berücksichtigung der Bezugs-pH-Werte zusammenfassend dargestellt. Die Eluatwerte in den Tabellen 8-5 und 8-6 beziehen sich auf Q-Lösungs-Systeme selbst und nicht auf deren Wasseranteil. Für die Berechnung der Konzentrationen bezogen auf den Wasseranteil des Schutzfluides werden die Eluatwerte auf den reinen Wasseranteil im Schutzfluid umgerechnet, und zwar durch Multiplikation mit dem Faktor 1,166 (1 mg/L im Schutzfluid entspricht 1,166 mg/L im

Wasseranteil des Schutzfluides, da 1 L Schutzfluid 0,858 (=1/1,166) L Wasser enthält).

Für die zugrunde gelegten Eluierbarkeiten von Wasserinhaltsstoffen wie Al (bei pH 9,0) und SiO<sub>2</sub> (bei pH 9,0) ist der Bezugs-pH-Wert höher als der zugrunde gelegte pH-Bereich von 6,4 bis 8,5 und damit konservativ, weil bei höheren pH-Werten Al und SiO<sub>2</sub> auch höhere Löslichkeiten aufweisen als im pH-Bereich von 6,4 bis 8,5. Für Al wurde konservativ der höchste erwähnte Wert von 4,5 E-03 Mol/L (in NaCl-Lösung bei pH 10,7-11,8) für das Q-Lösungssystem bei pH 9 übernommen, um ggf. auch besser lösliche (amorphe) Aluminiumoxide und -hydrate zu berücksichtigen. Während Al und SiO<sub>2</sub> bei hohen pH-Werten hohe Eluierbarkeiten aufweisen, gilt für die o.g. Elemente Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn eine hohe Eluierbarkeit bei niedrigen pH-Werten (hier pH-Bereich von 6,3 - 7).

Tabelle 8-5: Eluierbarkeit einiger wasserrechtlich relevanter Wasserinhaltsstoffe in Q-Lösungs-Systemen (Q-Lösung IP 21 mit zementhaltigen Materialien) in Mol/L nach DEV-S4-Versuch für die Quelltermberechnung

Element/ Verbindung	Eluierbarkeit abgeleitet aus [27] [Mol/L]	Bezugs-pH-Wert für die Eluatwerte
Cd	9,8E-05	6,9
Cu	1,6E-05	7,0
Mn	3,7E-06	7,0
Ni	6,8E-06	6,5
Pb	6,8E-05	6,5
Ti	3,1E-06	6,5
Zn	6,7E-05	7,0

Tabelle 8-6: Eluierbarkeit einiger wasserrechtlich relevanter Wasserinhaltsstoffe in Q-Lösungs-Systemen (Q-Lösung IP 21 mit zementhaltigen Materialien) in Mol/L für die Quelltermberechnung

Element/ Verbindung	Eluierbarkeit abgeleitet aus [28] [Mol/L]	Bezugs-pH-Wert für die Eluatwerte
Al	4,5E-03	9,0
Cr	1,2E-03	6,3
Fe	5,0E-04	6,3
SiO <sub>2</sub>	2,2E-03	9,0

Die Löslichkeit von Uran wurde aus Experimenten des FZK-INE für die Einlagerungskammern der Schachtanlage abgeleitet (siehe Kap. 8.1). Die in den

Laborexperimenten des FZK-INE mit verschiedenen zementkonditionierten Q-Lösungen gemessenen U-Konzentrationen liegen unter Berücksichtigung der experimentellen Ungenauigkeit bei  $4,0E-06$  Mol/kg  $H_2O$  [5]. Dieser Wert ist für die kammer-spezifisch ermittelten pH-Werte als obere Abschätzung für die U-Festphasenlöslichkeit in den Einlagerungskammern der Schachtanlage Asse zu verwenden.

Neben den v. g. Stoffen, zu denen reale Konzentrationen in  $MgCl_2$ -reichen Salzlösungen auf Basis von Experimenten vorliegen, wurde für weitere Wasserinhaltsstoffe das Lösungsverhalten in Anwesenheit von Versatzstoffen untersucht und die chemischen Reaktionen berücksichtigt, die realistischerweise unter den chemischen und chemotoxischen Stoffen zu erwarten sind.

Im Folgenden sind die Wasserinhaltsstoffe und deren Reaktionsabläufe aufgeführt, die der Ermittlung der Löslichkeiten in  $MgCl_2$ -reichen Salzlösungen zugrunde liegen und damit bei der Ermittlung des realistischen Quellterms berücksichtigt wurden:

- Ag            Durch die charakteristisch geringe Löslichkeit von AgJ erfolgt eine unvollständige Auflösung im Wasserangebot des Schutzfluides (LAW1A, LAW2, LAW3, LAW4).
- B             Es bildet sich schwer lösliches Calciumborat aus Borsäure bei Anwesenheit calciumhaltiger Materialien (z. B. Zement) (LAW1A, LAW2, LAW3, LAW4).
- Ba            Die Reaktion von gelöstem Barium (Ba) mit gelöstem Sulfat ( $SO_4$ ) führt zu schwer löslichem Bariumsulfat ( $BaSO_4$ ).
- Cl            Die Löslichkeit von Chloriden als Bestandteil des Schutzfluides ist entsprechend deren Konzentration von ca. 28,68 Ma.-%  $MgCl_2$ , 1,70 Ma.-% NaCl, 0,87 Ma.-% KCl im Schutzfluid vorgegeben.  
  
Die Bildung von Sorelphasen aus Schutzfluid und Brucit-Granulat bzw. Brucit-Pulver führt nicht zu einer in Wasser beständigen Verbindung, so dass die Chloride des Schutzfluides nach wie vor ausgelaugt werden.
- Mg            Die Löslichkeit wird begrenzt durch schwer lösliches  $MgO$ ,  $Mg(OH)_2$ ,  $MgSiO_3$ .
- Mo            Aus  $Na_2MoO_4$  bildet sich in Anwesenheit von Zement schwer lösliches  $CaMoO_4$  (MAW, LAW4).
- $NH_4$         Die quaternäre Ammoniumgruppe  $[-N(CH_3)_3](+)$  ist als funktionelle Gruppe der Anionenaustauscher unlöslich und fest in das Polymergerüst (Polystyrol-Divinylbenzol-Gerüst) des Ionenaustauschers eingebunden (alle LAW-ELBs).
- $PO_4$         Die Löslichkeit wird begrenzt durch schwer lösliches  $AlPO_4$ ,  $CrPO_4$ ,  $MgHPO_4$ ,  $Zn_3(PO_4)_2$ , Hydroxylapatit, TBP (Tributylphosphat).
- Se            Die Löslichkeit von  $MgSeO_3$  ist in  $MgCl_2$ -Lösungen sehr gering (gleichionige Zusätze vermindern die Löslichkeit bei konstantem Löslichkeitsprodukt).

Bei der Ermittlung der realen Löslichkeit der Stoffe in  $MgCl_2$ -reichen Salzlösungen wurden die v. g. Reaktionen berücksichtigt. Aus der Tabelle 8-7 können die Konzentrationen der in diesem Kapitel beschriebenen wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe je Einlagerungsbereich unter Berücksichtigung der Löslichkeit in  $MgCl_2$ -reichen Salzlösungen zusammenfassend entnommen werden. Die in der Tabelle 8-7 aufgeführten Konzentrationen werden im Quellterm (Tabelle 9-1) verwendet. Die übrigen Werte werden im Quellterm aus den Ergebnissen der hypothetisch vollständigen Lösung (Tabelle 8-3) oder der realen Löslichkeit in reinem Wasser (Tabelle 8-4) berücksichtigt.

Tabelle 8-7: Konzentrationen ausgewählter wasserrechtlich relevanter Wasserinhaltsstoffe pro Einlagerungsbereich (ELB) unter Berücksichtigung der realen Löslichkeit in  $MgCl_2$ -reichen Salzlösungen entsprechend dem Wasseranteil des Schutzfluides, in mg/L

WASSER-INHALTSSTOFF (PARAMETER)	MAW [mg/L]	LAW1A [mg/L]	LAW1B [mg/L]	LAW2 [mg/L]	LAW3 [mg/L]	LAW4 [mg/L]
ANORGANIKA:						
Ag	s. Tabelle 8-3	0,9136	s. Tabelle 8-3	14,3671	12,1920	14,3065
Al	348,6490	350,3444	301,9426	381,3368	326,9922	434,7766
As	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-4	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-4
B	s. Tabelle 8-3	537,8204	s. Tabelle 8-3	690,0015	627,9868	1.779,2288
Ba	4,5244	4,5244	4,5244	8,4026	4,5244	6,0366
Be	s. Tabelle 8-4	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-4	s. Tabelle 8-4	s. Tabelle 8-4	s. Tabelle 8-4
Bi	s. Tabelle 8-4					
BrO <sub>3</sub>	s. Tabelle 8-3					
Ca	1.466,2147	1.048,2772	1.043,0951	1.070,2470	1.081,4706	1.131,5215
Cd	s. Tabelle 8-3					
Cl	348.636,4411	352.367,0467	358.644,7604	367.083,7440	351.928,7818	417.312,6568
CN GESAMT	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-4	s. Tabelle 8-4	s. Tabelle 8-4
Co	s. Tabelle 8-4	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-3	s. Tabelle 8-4	s. Tabelle 8-4	s. Tabelle 8-4
Cr	168,3795	85,4706	71,4896	105,6983	147,9119	141,4247
Cr (VI)	s. Tabelle 8-3					
Cs	s. Tabelle 8-3					
Cu	70,1636	2,4046	2,4114	12,3606	7,1419	13,1320
F	s. Tabelle 8-4					
Fe	228,9907	119,4249	102,4538	127,1755	139,4395	160,4532
Hg	s. Tabelle 8-3					
K	s. Tabelle 8-3					
Li	s. Tabelle 8-3					
Mg	121.347,6176	122.371,5006	124.743,0382	127.497,7793	122.253,9228	144.755,7241
Mn	31,4253	0,7262	0,7292	1,5027	2,8724	5,5864



## **9 Bestimmung eines Quellterms für alle wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe**

Anhand von Modellbetrachtungen wurde ein abdeckender Quellterm für alle wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe pro ELB ermittelt, der eine Vielzahl von Stoffen überschätzt. Dieser Quellterm kann für eine Prüfung und Bewertung einer möglichen Beeinflussung des Grundwassers bzw. Trinkwassers herangezogen werden.

Die für die wasserrechtlich relevanten chemischen und chemotoxischen Stoffe bekannten Effekte, die eine Löslichkeitsänderung im geochemischen Milieu der Schachanlage Asse bewirken können, sind in den Kapiteln 8.2.1 bis 8.2.3 ausführlich beschrieben. Die Ergebnisse aus diesen Betrachtungen wurden bei der Ermittlung des Quellterms qualitativ und quantitativ berücksichtigt und sind in der Tabelle 9-1 und 9-2 zusammenfassend dargestellt.

In Tabelle 9-1 sind die Konzentrationen (Quellterm) aller wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe pro Einlagerungsbereich im Wasseranteil des Schutzfluides in mg/L ersichtlich. Der Bezug auf den Wasseranteil des Schutzfluides war erforderlich, um die unterschiedlichen Konzentrationsangaben aus Experimenten und Recherchen zu normieren. Die Tabelle 9-2 zeigt die Konzentrationen (Quellterm) derselben Wasserinhaltsstoffe pro Einlagerungsbereich jedoch umgerechnet auf das Schutzfluid in mg/L. Die Konzentrationsangaben in Tabelle 9-1 werden durch Multiplikation mit dem Faktor 0,858 in die Konzentrationsangaben in Tabelle 9-2 umgerechnet (1 mg/L im reinen Wasseranteil des Schutzfluides entspricht 0,858 mg/L im Schutzfluid, da 1 L Schutzfluid 0,858 L Wasser enthält). Damit kann die Bezugsgrösse "mg Wasserinhaltsstoff/L Schutzfluid" nicht nur für den Quellterm in den einzelnen mit Schutzfluid gefüllten Einlagerungsbereichen, sondern auch für die nach der Vermischung mit unbelastetem Schutzfluid im Grubengebäude bzw. mit Schutzfluid in der Südflanke der Schachanlage Asse sich jeweils im anstehenden Schutzfluid und damit am Austritt zum Deckgebirge einstellende Konzentration von Wasserinhaltsstoffen verwendet werden.



WASSER- INHALTSSTOFF (PARAMETER)	MAW [mg/L]	LAW1A [mg/L]	LAW1B [mg/L]	LAW2 [mg/L]	LAW3 [mg/L]	LAW4 [mg/L]
Sn	0,6292	0,4867	0,4867	0,4867	0,4867	0,5817
SO <sub>4</sub>	36.687,7819	37.634,2467	37.267,3269	38.520,4250	38.106,5078	43.940,5330
Te	0,1949	1,3595	1,8000	1,8000	1,2768	1,8000
Ti	0,2152	0,3459	0,3459	0,3459	0,3459	0,3459
Tl	0,1567	0,0227	0,0043	0,0286	0,1148	0,1139
U	0,9521	0,9521	0,9521	0,9521	0,9521	0,9521
V	28,0000	7,2269	1,4262	8,6450	28,0000	28,0000
Zn	79,5680	10,7878	10,4430	12,7393	15,4603	24,3664
ORGANIKA:						
ANT	0,0000	102,0164	10,1931	80,2704	112,3403	286,8056
ANT+NIT	2.401,0940	305,9032	32,7117	300,6517	487,9297	1.222,6717
AOX	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656
BTEX G	5,4263	19,0316	2,1324	59,8953	19,8789	85,4702
DOC G	6.368,5067	1.512,0591	1.117,1069	2.388,2237	1.509,6380	8.330,6515
EDTA/-SALZE	15,8144	0,0506	0,0138	0,4512	1,1717	2,1779
LHKW G	2,7897	10,2199	2,9676	57,7281	10,5798	55,0983
MINER.ÖL-KW	0,0000	22,1000	22,1000	22,1000	22,1000	22,1000
NIT	2.401,0940	203,8868	22,5186	220,3813	375,5894	935,8661
OCLV G	2,7897	10,2199	2,9676	57,7281	10,5798	55,0983
SOS G	28.282,5039	4.573,0424	2.946,3796	7.219,4301	6.082,7059	32.122,8010

Tabelle 9-2: Konzentrationen (Quellterm) aller wasserrechtlich relevanten Wasserinhaltsstoffe pro Einlagerungsbereich (ELB) im Schutzfluid, in mg/L

WASSER-INHALTSSTOFF (PARAMETER)	MAW [mg/L]	LAW1A [mg/L]	LAW1B [mg/L]	LAW2 [mg/L]	LAW3 [mg/L]	LAW4 [mg/L]
ANORGANIKA:						
Ag	2,0788	0,7839	0,4826	12,3278	10,4614	12,2758
Al	299,1606	300,6153	259,0838	327,2085	280,5778	373,0629
As	9,7448	2,6807	3,8612	26,8858	8,2613	14,5870
B	110,5766	461,4803	153,4303	592,0603	538,8482	1.526,6788
Ba	3,8822	3,8822	3,8822	7,2099	3,8822	5,1797
Be	0,0018	0,0881	0,0549	0,1315	0,0549	0,0019
Bi	6,9932	6,9932	6,9932	6,9932	6,9932	6,9932
BrO <sub>3</sub>	1,0000	1,0889	1,2621	1,4607	1,0797	2,7101
Ca	1.258,0951	899,4810	895,0346	918,3324	927,9629	970,9094
Cd	0,8034	0,7684	0,3018	1,5274	0,5506	2,5454
Cl	299.149,7641	302.350,8345	307.737,4676	314.978,5923	301.974,7785	358.077,8373
CN GESAMT	0,0000	0,5485	0,0000	0,6547	0,6547	0,6547
Co	50,6253	42,7444	11,2149	50,6253	50,6253	50,6253
Cr	144,4792	73,3386	61,3421	90,6951	126,9168	121,3504
Cr (VI)	0,9203	0,1856	0,0865	0,2182	0,6912	0,6955
Cs	10,0657	4,1643	4,9505	8,1530	8,8132	25,0046
Cu	60,2044	2,0633	2,0691	10,6061	6,1281	11,2680
F	472,7908	13,6003	10,2468	25,3840	46,1707	87,3555
Fe	196,4870	102,4733	87,9112	109,1238	119,6469	137,6779
Hg	0,0412	0,0165	0,0281	0,0550	0,0390	0,2133
K	18.635,6537	8.432,8416	6.705,5116	8.504,8417	22.296,9992	18.974,1671
Li	86,2359	36,9559	15,7385	37,1656	87,0373	111,1419
Mg	104.123,1120	105.001,6614	107.036,5747	109.400,2981	104.900,7730	124.208,5899
Mn	26,9647	0,6231	0,6257	1,2894	2,4647	4,7934
Mo	63,7537	5,0305	4,4883	15,0735	27,1020	45,7647
Na	105.954,0521	13.852,0083	10.241,0932	16.092,4229	36.226,0668	44.959,8468
NH <sub>4</sub>	28,0944	465,0973	52,2753	371,8589	566,8215	1.418,2987
Ni	28,3758	0,8121	0,8148	1,5092	2,7391	5,1759
NO <sub>2</sub>	0,0600	127,9550	14,6481	99,0854	108,7236	331,6490
NO <sub>3</sub>	214.711,9728	1.734,8753	390,8041	7.063,6557	16.481,8577	38.535,7775
Pb	14,1793	14,2237	14,1297	16,3091	14,1835	15,0886
PO <sub>4</sub>	1.166,0772	157,5790	66,2465	218,7119	512,5234	962,8316
Rb	162,9719	38,3254	24,4525	50,7236	125,0582	155,5923
Sb	6,1609	6,1609	3,0356	6,1609	6,1609	6,1609
Se	0,3680	0,3680	0,3680	0,3680	0,3680	0,3680
SiO <sub>2</sub>	132,2265	132,2265	132,2265	132,2265	132,2265	132,2265
Sn	0,5399	0,4176	0,4176	0,4176	0,4176	0,4991

WASSER- INHALTSSTOFF (PARAMETER)	MAW [mg/L]	LAW1A [mg/L]	LAW1B [mg/L]	LAW2 [mg/L]	LAW3 [mg/L]	LAW4 [mg/L]
SO <sub>4</sub>	31.480,1897	32.292,3100	31.977,4720	33.052,7010	32.697,5367	37.703,4599
Te	0,1672	1,1665	1,5445	1,5445	1,0956	1,5445
Ti	0,1847	0,2968	0,2968	0,2968	0,2968	0,2968
Tl	0,1344	0,0195	0,0037	0,0245	0,0985	0,0977
U	0,8170	0,8170	0,8170	0,8170	0,8170	0,8170
V	24,0256	6,2011	1,2238	7,4179	24,0256	24,0256
Zn	68,2738	9,2566	8,9607	10,9310	13,2658	20,9078
ORGANIKA:						
ANT	0,0000	87,5358	8,7463	68,8765	96,3943	246,0954
ANT+NIT	2.060,2743	262,4822	28,0685	257,9761	418,6713	1.049,1214
AOX	0,0563	0,0563	0,0563	0,0563	0,0563	0,0563
BTEX G	4,6561	16,3302	1,8297	51,3935	17,0572	73,3382
DOC G	5.464,5385	1.297,4322	958,5409	2.049,2309	1.295,3547	7.148,1697
EDTA-/SALZE	13,5697	0,0434	0,0118	0,3871	1,0054	1,8688
LHKW G	2,3937	8,7693	2,5464	49,5340	9,0781	47,2775
MINER.ÖL-KW	0,0000	18,9630	18,9630	18,9630	18,9630	18,9630
NIT	2.060,2743	174,9464	19,3222	189,0996	322,2770	803,0260
OCLV G	2,3937	8,7693	2,5464	49,5340	9,0781	47,2775
SOS G	24.267,9863	3.923,9288	2.528,1602	6.194,6789	5.219,3053	27.563,1782

## 10 Verzeichnis der verwendeten Unterlagen

- [1] Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachanlage Asse, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Abschlussbericht, August 2002.
- [2] Verfüllkonzeption für die Einlagerungskammern der 750-m und 725-m Sohle für den Fall der Beeinflussung des geochemischen Milieus durch Brucit (Verfüllkonzept G), GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Arbeitsunterlage, 21.04.2005.
- [3] Verfüllkonzeption für die Einlagerungskammer 8a/511 (MAW), GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Arbeitsunterlage, 20.04.2005.
- [4] Bestimmung des Inventars an chemischen und chemotoxischen Stoffen in den eingelagerten radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Abschlussbericht, März 2004.
- [5] Eingangsdaten für die Bestimmung eines Quellterms für chemische und chemotoxische Stoffe; MS EXCEL-Datei \Quelltermdaten – Übersicht 09.02.2003, Tabellenblatt „, Daten für Quellterm rev. 10(1)“, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, 17.10.2006.
- [6] Stellungnahme zur Beständigkeit von Sorelphasen und Sorelbeton gegenüber Salzlösungen, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Anorganische Chemie, 03.12.2005.
- [7] Stellungnahme zur Beständigkeit von Baustoffen auf Basis von Sorel-Phasen und Salzbeton gegenüber den im Grubengebäude des FB Asse auftretenden Lösungen, Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Nukleare Entsorgung, 07.11.2002.
- [8] Vergleich von experimentellen pH-Werten mit  $H^+$ -Konzentrationen in Asse-spezifischen Salzlösungen, Notiz FZK-INE 009/06, September 2006.
- [9] 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.
- [10] Bekanntmachung der Neufassung der Trinkwasserverordnung vom 5. Dezember 1990, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1990, Teil I, Nr. 66, S. 2612-2629.

- [11] Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2001, Teil I, Nr. 24, S. 959-980.
- [12] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA):  
Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden, Stand: 03. Dezember 1996.
- [13] LAWA-Arbeitsgruppe „Grundwasserschutz bei Abfallverwertung und Produkteinsatz“:  
Aktualisierte Prüfwerte der LAWA-Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden, Stand: 02. Dezember 1996.
- [14] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA):  
Geringfügigkeitsschwellen (Prüfwerte) zur Beurteilung von Grundwasserschäden und ihre Begründung, Stand: 21. Dezember 1998.
- [15] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.:  
Eignung von Fließgewässern für die Trinkwasserversorgung  
DVGW-Regelwerk, Technische Mitteilung, Merkblatt W 251, Stand: August 1996.
- [16] Richard P. Pohanisch (Editor):  
Sittig's Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens  
4<sup>th</sup>. edition, Vol. 1+2, Noyes Publications, Norwich/New York, 2002.
- [17] World Health Organization (WHO):  
Guidelines for Drinking-Water Quality, 2<sup>nd</sup> Edition, Volume 1 (1983 + 1993/96) and Addendum to Volume 1, Recommendations (1998).
- [18] Herleitung  
und Beschreibung des Konzepts zur Schliessung der Schachanlage Asse. Revision 04,  
GSF, 14.07.2005.
- [19] Lösungs- und Gasbewegung beim Einlagerungsbereich MAW in der Betriebs- und frühen Nachbetriebsphase, Modellrechnungen mit dem Programm TOUGH2, Bericht 3331/76, Revision 03, Colenco Power Engineering AG, Oktober 2006.
- [20] NRG Petten, Colenco, GRS Braunschweig: Projekt Langzeitsicherheit Asse – Transportmodellierungen zum Nachweis der Langzeitsicherheit: Fluid- und Radionuklidtransport am Standort Asse, Revision 01, Konsortium ALSA-C, Juli 2005.
- [21] RÖMPP Lexikon Chemie:  
9. erweiterte und neubearbeitete Auflage, Verlag Thieme, Stuttgart/New York (1991).
- [22] 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.
- [23] Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds, (1988), Verlag Marcel Dekker Inc., New York/Basel.

- [24] Umweltchemikalien Physikalisch-chemische Daten, Toxizitäten, Grenz- und Richtwerte, Umweltverhalten, 2. Auflage, Verlag Chemie, Weinheim/New York (1991); 3. Auflage, Verlag Chemie, Weinheim/New York (1995).
- [25] Beratergremium für Umweltrelevante Altstoffe (BUA) der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh); BUA-Stoffbericht Nr. 108: Tributylphosphat/Dibutylphosphat (Stand: Dezember 1992); Verlag S. Hirzel, Stuttgart.
- [26] Wasser – Nutzung im Kreislauf, Hygiene, Analyse und Bewertung, 8. Auflage, Verlag Walter de Gruyter, Berlin/New York (2002).
- [27] :  
Erweiterung und Übertragung von Untersuchungsmethoden für die untertägige Einbringung von Abfällen – realitätsnahe Untersuchungsmethoden zur Bestimmung des Langzeitverhaltens, GRS-A-2787, Tabelle 4.3 und Tabelle A. 22, Braunschweig (April 2000).
- [28] Langzeit Auslaug- und Korrosionsexperimente an zementierten 1 : 1 Gebinden in der Schachanlage Asse, FZKA 6716 (April 2002).

## **ANHANG A EINSCHLÄGIGE REGELWERKE FÜR RELEVANTE WASSERINHALTSSTOFFE**

### **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, with drawn, 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 + 1993/96) und "Addendum to Volume 1, Recommendations (1998)"
- 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**

- $\gamma$ -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 (C<sub>16</sub> - C<sub>18</sub>, Oelsäuretyp); (nichtionische Tenside)  
Fettalkoholethoxylat (C<sub>16</sub> - C<sub>18</sub>, 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**

Liste bekannter chemotoxischer anorganischer Stoffe:

Antimon und Antimonverbindungen  
Arsen und Arsenverbindungen  
Barium und Bariumverbindungen  
Beryllium und Berylliumverbindungen  
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  
Quecksilber und Quecksilberverbindungen  
Selen und Selenverbindungen  
Silber und Silberverbindungen  
Tellur und Tellurverbindungen  
Thallium und Thalliumverbindungen  
Titan und Titanverbindungen  
Uran und Uranverbindungen  
Vanadium und Vanadiumverbindungen  
Wismut und Wismutverbindungen  
Zink und Zinkverbindungen  
Zinn und Zinnverbindungen

## ANHANG B      DETAILLIERTE ERGEBNISTABELLEN

### B.1 Gesamtinventar aus allen Stoffuntergruppen (SUG) und allen Einlagerungsbereichen; geordnet nach Masse der Materialien [kg]

Einlag. bereich	Beitrag	Material (SUG)	Masse [kg]	Anteil
T	T	GEB. WASSER S.FLUID	65.687.657,23740	0,309584
T	T	SCHUTZFLUID TS	34.674.636,76260	0,163421
T	T	NORMALBETON	26.736.864,83508	0,126010
T	T	BRUCIT-GRANULAT TS	21.426.376,00000	0,100982
T	T	FE-METALLE	12.476.476,94201	0,058801
T	T	PORTLANDZEMENTSTEIN	12.065.190,65040	0,056863
T	T	HAEMATITBETON	10.635.088,69200	0,050123
T	T	PORTL.ZEMENTMOERTEL	7.766.820,64962	0,036605
T	T	STAHL MRST37-2	5.416.060,00000	0,025526
T	T	ZELLULOSE TS	2.846.960,95959	0,013418
T	T	NE-METALLE	1.068.015,43384	0,005034
T	T	KUNSTSTOFFE	1.046.835,57476	0,004934
T	T	PAPIER TS	852.390,20010	0,004017
T	T	VDK GFK/KFK SALZ TS	796.559,40570	0,003754
T	T	GERAETEGLAS	789.591,31075	0,003721
T	T	ADS. WASSER BR.GRAN.	765.624,00000	0,003608
T	T	ARM. STAHL	594.600,00000	0,002802
T	T	STAHL 2	474.700,74210	0,002237
T	T	BAUMWOLLE TS	449.335,88730	0,002118
T	T	SAND/KIES/STEINE	433.289,66467	0,002042
T	T	BRUCIT-PULVER TS	368.898,24000	0,001739
T	T	MINERALWOLLE	321.266,04380	0,001514
T	T	KIESELGUR TS	315.882,41308	0,001489
T	T	BITUMEN	304.610,99240	0,001436
T	T	HYDRATWASSER ZELLHMA	245.394,45676	0,001157
T	T	HYDRATWASSER ZELLUL.	220.829,07457	0,001041
T	T	SALZKONZENTRAT TS	208.049,03435	0,000981
T	T	BORSAEURE/BORATE TS	178.911,62529	0,000843
T	T	PVC (WEICH)	175.438,22044	0,000827
T	T	VDK DWR SALZ TS	159.526,11683	0,000752
T	T	PZ-OELSCHIEFERSTEIN	146.411,68000	0,000690
T	T	ASCHE TS	143.427,16064	0,000676
T	T	GUMMI (VULKANISIERT)	126.884,05581	0,000598
T	T	U308	120.824,08115	0,000569
T	T	POLYETHYLEN	119.113,76225	0,000561
T	T	GEB. WASSER VDK DWR	114.294,22847	0,000539
T	T	STAHL 1	110.915,68961	0,000523
T	T	HOLZ TS	101.164,76800	0,000477
T	T	ALUMINIUM	99.966,40218	0,000471
T	T	THO2	99.242,22890	0,000468
T	T	PULVERHARZ TS	96.187,89427	0,000453
T	T	TORF TS	78.796,08603	0,000371
T	T	ASBEST TS	76.679,05360	0,000361
T	T	ADS. WASSER	69.626,51368	0,000328
T	T	PORENWASSER PULVERHZ	63.947,12477	0,000301
T	T	GRAFIT TS	62.119,26336	0,000293
T	T	STAHL 1.4541	58.466,60040	0,000276
T	T	OEL	50.886,27582	0,000240
T	T	POLYSTYROL	48.312,00000	0,000228
T	T	AKTIVKOHLE TS	47.251,03379	0,000223
T	T	VDK SWR SALZ TS	46.320,32864	0,000218
T	T	KUNSTHARZ	44.122,07200	0,000208
T	T	STAHL GGG40	41.723,00000	0,000197
T	T	CHELATE/KOMPLEXBILD.	39.908,57332	0,000188
T	T	ERDREICH	39.084,73440	0,000184
T	T	VDK I SALZ TS	36.175,95487	0,000170

## B 2

Einlag. bereich	Beitrag	Material (SUG)	Masse [kg]	Anteil
T	T	ZIRCALOY 2	35.822,67000	0,000169
T	T	GEB. WASSER VDK GFK	31.934,50625	0,000151
T	T	BORATE KKS TS	31.569,94531	0,000149
T	T	KORROSIONSPRODUKTE	30.806,06215	0,000145
T	T	SALZE FHM K TS	29.129,17828	0,000137
T	T	ZELLSTOFF TS	25.489,74800	0,000120
T	T	GEB. WASSER SALZKONZ	24.492,85849	0,000115
T	T	VERMICULIT TS	24.462,65297	0,000115
T	T	HYDRATWASSER PAPIER	24.050,91692	0,000113
T	T	GEB. WASSER	23.275,82860	0,000110
T	T	TBP/KEROSIN	22.473,39939	0,000106
T	T	KUGELHARZ TS	21.187,00002	0,000100
T	T	SILIKONKAUTSCHUK	20.988,01040	0,000099
T	T	KUPFER	19.641,96379	0,000093
T	T	ADS. WASSER TORF	17.296,70181	0,000082
T	T	PORENWASSER KUGELHZ	15.133,13294	0,000071
T	T	ZINK	14.301,91800	0,000067
T	T	VDK KFA SALZ TS	13.534,99232	0,000064
T	T	ADS. WASSER BR.PULV.	13.181,76000	0,000062
T	T	BLEI	12.574,05927	0,000059
T	T	EPDM (DICHTUNG)	11.030,51800	0,000052
T	T	CHEMIEGIPS TS	10.882,58740	0,000051
T	T	BTEX/LOESUNGSMITTEL	8.808,33856	0,000042
T	T	HYDRATWASSER BAUMW.	8.714,32256	0,000041
T	T	ZIEGEL	8.014,35600	0,000038
T	T	SALZE TS	7.815,07624	0,000037
T	T	SALZKONZENTR. DWR TS	5.955,36358	0,000028
T	T	SALZE K TS	5.241,01847	0,000025
T	T	ERDE	5.183,99693	0,000024
T	T	GEB. WASSER VERMICU.	4.919,66403	0,000023
T	T	SALZKONZENTR. SWR TS	4.707,14907	0,000022
T	T	SALZE VDK GFK/KFK TS	3.974,79100	0,000019
T	T	PORENWASSER AK	3.582,70509	0,000017
T	T	SIC	3.339,36000	0,000016
T	T	VDK F SALZ TS	3.020,77880	0,000014
T	T	KRISTALLWASSER	2.856,69913	0,000013
T	T	SALZE F TS	2.817,88837	0,000013
T	T	HYDRATWASSER HOLZ	2.719,88640	0,000013
T	T	VA-STAHL	2.639,39000	0,000012
T	T	GEB. WASSER SALZE	2.625,21160	0,000012
T	T	KERAMIK	2.422,47904	0,000011
T	T	VDK KWU SALZ TS	2.393,18122	0,000011
T	T	KOLLAGENE TS	2.375,15976	0,000011
T	T	STAHL 1.4571	2.170,58400	0,000010
T	T	ADS. WASSER GLAS	2.135,47600	0,000010
T	T	SCHLACKE TS	1.920,00000	9,05E-06
T	T	GEB. WASSER VDK SWR	1.753,77319	8,27E-06
T	T	TITAN	1.685,88000	7,95E-06
T	T	LABORABWASSER TS	1.559,82300	7,35E-06
T	T	VDK U SALZ TS	1.556,77500	7,34E-06
T	T	ADS. WASSER ASCHE	1.319,85600	6,22E-06
T	T	KNOCHENLEIM TS	1.035,64500	4,88E-06
T	T	STAHL ST 37	869,60000	4,10E-06
T	T	ADS. WASSER GRAFIT	846,06400	3,99E-06
T	T	HYDRATWASSER ZELLST.	790,00800	3,72E-06
T	T	PFLANZL. ABFAELLE TS	781,50000	3,68E-06
T	T	GEB. WASSER EDTA	722,85600	3,41E-06
T	T	SALZE KFA TS	722,00000	3,40E-06
T	T	ARSENVERBINDUNGEN	720,00000	3,39E-06
T	T	CAF2	675,40480	3,18E-06
T	T	ADS. WASSER U-OXIDE	673,44000	3,17E-06
T	T	GEB. WASSER VDK I	589,86186	2,78E-06
T	T	EDTA/KOMPLEXBILDNER	560,11022	2,64E-06
T	T	ADS. WASSER ASBEST	472,56000	2,23E-06
T	T	PORENWASSER	396,82000	1,87E-06
T	T	GEB. WASSER KOLLAGEN	393,50660	1,85E-06

## B 3

Einlag. bereich	Beitrag	Material (SUG)	Masse [kg]	Anteil
T	T	POLYPROPYLEN	384,00000	1,81E-06
T	T	GEB. WASSER K.LEIM	371,77000	1,75E-06
T	T	GEB. WASSER VDK KFA	361,31060	1,70E-06
T	T	KOBALT	316,80000	1,49E-06
T	T	SALZE I TS	316,31691	1,49E-06
T	T	FORMALIN	299,18694	1,41E-06
T	T	TRICHLORETHAN	270,00000	1,27E-06
T	T	TIERKOERPER TS	269,17800	1,27E-06
T	T	SILICIUMDIOXID	246,33000	1,16E-06
T	T	NANO3	246,28500	1,16E-06
T	T	BARIUMBROMID	224,74620	1,06E-06
T	T	GEB. WASSER ERDREICH	222,00000	1,05E-06
T	T	SALZE FHM I TS	201,33608	9,49E-07
T	T	ADS. WASSER S/K/S	158,06600	7,45E-07
T	T	KONZENTRAT BORAT	156,00000	7,35E-07
T	T	GEB. WASSER C.GIPS	136,26727	6,42E-07
T	T	ADS. WASSER KIESELG.	88,60005	4,18E-07
T	T	CACO3	87,50000	4,12E-07
T	T	GEB. WASSER VDK F	81,64267	3,85E-07
T	T	GEB. WASSER VDK U	81,60000	3,85E-07
T	T	GEB. WASSER LABORABW	67,00000	3,16E-07
T	T	ADS. WASSER STRQ.BEH	56,94400	2,68E-07
T	T	AL2O3	45,04500	2,12E-07
T	T	ACRYLGLAS	40,50000	1,91E-07
T	T	ADS. WASSER AS-VERB	40,00000	1,89E-07
T	T	GEB. WASSER U-VERB.	30,00000	1,41E-07
T	T	ADS. WASSER U+U-OXID	29,40000	1,39E-07
T	T	GEB. WASSER CHEMIKAL	25,00000	1,18E-07
T	T	ADS. WASSER SCHLACKE	19,20000	9,05E-08
T	T	PUO2	13,24681	6,24E-08
T	T	GEB. WASSER U-TH-VER	11,58400	5,46E-08
T	T	ADS. WASSER BA-BR.	5,00000	2,36E-08
T	T	ADS. WASSER UOX+U-VB	4,00000	1,89E-08
T	T	SALZE FHM F TS	2,54064	1,20E-08
T	T	BERYLLIUMPULVER	0,00100	4,71E-12
Gesamtsumme			212.180.378,89844	1,000000

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

Einlag. bereich	Beitrag	Material (SUG)	Masse [kg]	Anteil
T	ABFALL	FE-METALLE	12.476.476,94201	0,456914
T	ABFALL	ZELLULOSE TS	2.846.960,95959	0,104262
T	ABFALL	NORMALBETON	2.065.112,03508	0,075629
T	ABFALL	NE-METALLE	1.068.015,43384	0,039113
T	ABFALL	KUNSTSTOFFE	1.046.835,57476	0,038337
T	ABFALL	PAPIER TS	852.390,20010	0,031216
T	ABFALL	VDK GFK/KFK SALZ TS	796.559,40570	0,029172
T	ABFALL	GERAETEGLAS	789.591,31075	0,028916
T	ABFALL	STAHL 2	474.700,74210	0,017385
T	ABFALL	BAUMWOLLE TS	449.335,88730	0,016456
T	ABFALL	SAND/KIES/STEINE	433.289,66467	0,015868
T	ABFALL	MINERALWOLLE	321.266,04380	0,011765
T	ABFALL	KIESELGUR TS	310.430,93312	0,011369
T	ABFALL	HYDRATWASSER ZELLHMA	245.394,45676	0,008987
T	ABFALL	HYDRATWASSER ZELLUL.	220.829,07457	0,008087
T	ABFALL	SALZKONZENTRAT TS	208.049,03435	0,007619
T	ABFALL	BORSAEURE/BORATE TS	178.911,62529	0,006552
T	ABFALL	VDK DWR SALZ TS	159.526,11683	0,005842
T	ABFALL	PVC (WEICH)	158.289,06044	0,005797
T	ABFALL	ASCHE TS	143.427,16064	0,005253
T	ABFALL	GUMMI (VULKANISIERT)	126.884,05581	0,004647
T	ABFALL	U3O8	120.824,08115	0,004425
T	ABFALL	POLYETHYLEN	119.113,76225	0,004362
T	ABFALL	GEB. WASSER VDK DWR	114.294,22847	0,004186
T	ABFALL	STAHL 1	110.915,68961	0,004062
T	ABFALL	HOLZ TS	101.164,76800	0,003705
T	ABFALL	ALUMINIUM	99.966,40218	0,003661
T	ABFALL	THO2	99.242,22890	0,003634
T	ABFALL	PULVERHARZ TS	96.187,89427	0,003523
T	ABFALL	ASBEST TS	76.679,05360	0,002808
T	ABFALL	ADS. WASSER	69.626,51368	0,002550
T	ABFALL	PORENWASSER PULVERHZ	63.947,12477	0,002342
T	ABFALL	GRAFIT TS	62.119,26336	0,002275
T	ABFALL	STAHL 1.4541	58.466,60040	0,002141
T	ABFALL	OEL	50.886,27582	0,001864
T	ABFALL	VDK SWR SALZ TS	46.320,32864	0,001696
T	ABFALL	CHELATE/KOMPLEXBILD.	39.908,57332	0,001462
T	ABFALL	ERDREICH	39.084,73440	0,001431
T	ABFALL	VDK I SALZ TS	36.175,95487	0,001325
T	ABFALL	ZIRCALOY 2	35.822,67000	0,001312
T	ABFALL	GEB. WASSER VDK GFK	31.934,50625	0,001170
T	ABFALL	BORATE KKS TS	31.569,94531	0,001156
T	ABFALL	KORROSIONSPRODUKTE	30.806,06215	0,001128
T	ABFALL	SALZE FHM K TS	29.129,17828	0,001067
T	ABFALL	ZELLSTOFF TS	25.489,74800	0,000933
T	ABFALL	GEB. WASSER SALZKONZ	24.492,85849	0,000897
T	ABFALL	HYDRATWASSER PAPIER	24.050,91692	0,000881
T	ABFALL	GEB. WASSER	23.275,82860	0,000852
T	ABFALL	TBP/KEROSIN	22.473,39939	0,000823
T	ABFALL	KUGELHARZ TS	21.187,00002	0,000776
T	ABFALL	SILIKONKAUTSCHUK	20.988,01040	0,000769
T	ABFALL	KUPFER	19.641,96379	0,000719
T	ABFALL	AKTIVKOHLE TS	15.882,64000	0,000582
T	ABFALL	HAEMATITBETON	15.336,19200	0,000562
T	ABFALL	PORENWASSER KUGELHZ	15.133,13294	0,000554
T	ABFALL	VDK KFA SALZ TS	13.534,99232	0,000496
T	ABFALL	BLEI	10.941,05927	0,000401
T	ABFALL	BTEX/LOESUNGSMITTEL	8.808,33856	0,000323
T	ABFALL	HYDRATWASSER BAUMW.	8.714,32256	0,000319

## B 5

Einlag. bereich	Beitrag	Material (SUG)	Masse [kg]	Anteil
T	ABFALL	ZIEGEL	8.014,35600	0,000294
T	ABFALL	SALZE TS	7.815,07624	0,000286
T	ABFALL	SALZKONZENTR. DWR TS	5.955,36358	0,000218
T	ABFALL	SALZE K TS	5.241,01847	0,000192
T	ABFALL	ERDE	5.183,99693	0,000190
T	ABFALL	SALZKONZENTR. SWR TS	4.707,14907	0,000172
T	ABFALL	BITUMEN	4.302,31240	0,000158
T	ABFALL	SALZE VDK GFK/KFK TS	3.974,79100	0,000146
T	ABFALL	SIC	3.339,36000	0,000122
T	ABFALL	VDK F SALZ TS	3.020,77880	0,000111
T	ABFALL	SALZE F TS	2.817,88837	0,000103
T	ABFALL	HYDRATWASSER HOLZ	2.719,88640	0,000100
T	ABFALL	VA-STAH	2.639,39000	0,000097
T	ABFALL	GEB. WASSER SALZE	2.625,21160	0,000096
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	0,000087
T	ABFALL	PORTLANDZEMENTSTEIN	2.217,05520	0,000081
T	ABFALL	STAHL 1.4571	2.170,58400	0,000079
T	ABFALL	ADS. WASSER GLAS	2.135,47600	0,000078
T	ABFALL	SCHLACKE TS	1.920,00000	0,000070
T	ABFALL	GEB. WASSER VDK SWR	1.753,77319	0,000064
T	ABFALL	TITAN	1.685,88000	0,000062
T	ABFALL	LABORABWASSER TS	1.559,82300	0,000057
T	ABFALL	VDK U SALZ TS	1.556,77500	0,000057
T	ABFALL	ADS. WASSER ASCHE	1.319,85600	0,000048
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	0,000026
T	ABFALL	SALZE KFA TS	722,00000	0,000026
T	ABFALL	ARSENVERBINDUNGEN	720,00000	0,000026
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	0,000014
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	9,89E-06
T	ABFALL	TIERKOERPER TS	269,17800	9,86E-06
T	ABFALL	SILICIUMDIOXID	246,33000	9,02E-06
T	ABFALL	NANO3	246,28500	9,02E-06
T	ABFALL	BARIUMBROMID	224,74620	8,23E-06
T	ABFALL	GEB. WASSER ERDREICH	222,00000	8,13E-06
T	ABFALL	SALZE FHM I TS	201,33608	7,37E-06
T	ABFALL	ADS. WASSER S/K/S	158,06600	5,79E-06
T	ABFALL	KONZENTRAT BORAT	156,00000	5,71E-06
T	ABFALL	PORENWASSER AK	97,32800	3,56E-06
T	ABFALL	CACO3	87,50000	3,20E-06
T	ABFALL	GEB. WASSER VDK F	81,64267	2,99E-06
T	ABFALL	GEB. WASSER VDK U	81,60000	2,99E-06
T	ABFALL	GEB. WASSER LABORABW	67,00000	2,45E-06
T	ABFALL	ADS. WASSER STRQ.BEH	56,94400	2,09E-06
T	ABFALL	AL2O3	45,04500	1,65E-06
T	ABFALL	ACRYLGLAS	40,50000	1,48E-06
T	ABFALL	ADS. WASSER AS-VERB	40,00000	1,46E-06
T	ABFALL	ADS. WASSER KIESELG.	34,48000	1,26E-06
T	ABFALL	GEB. WASSER U-VERB.	30,00000	1,10E-06
T	ABFALL	ADS. WASSER U+U-OXID	29,40000	1,08E-06

B 6

Einlag. bereich	Beitrag	Material (SUG)	Masse [kg]	Anteil
T	ABFALL	KRISTALLWASSER	27,25380	9,98E-07
T	ABFALL	GEB. WASSER CHEMIKAL	25,00000	9,16E-07
T	ABFALL	ADS. WASSER SCHLACKE	19,20000	7,03E-07
T	ABFALL	PUO2	13,24681	4,85E-07
T	ABFALL	GEB. WASSER U-TH-VER	11,58400	4,24E-07
T	ABFALL	ADS. WASSER BA-BR.	5,00000	1,83E-07
T	ABFALL	ADS. WASSER UOX+U-VB	4,00000	1,46E-07
T	ABFALL	SALZE FHM F TS	2,54064	9,30E-08
T	ABFALL	BERYLLIUMPULVER	0,00100	3,66E-11
Summe ABFALL			27.305.963,13490	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
T	VERSATZMATERIAL	GEB. WASSER S.FLUID	65.687.657,23740	0,534322
T	VERSATZMATERIAL	SCHUTZFLUID TS	34.674.636,76260	0,282054
T	VERSATZMATERIAL	BRUCIT-GRANULAT TS	21.426.376,00000	0,174288
T	VERSATZMATERIAL	ADS. WASSER BR.GRAN.	765.624,00000	0,006228
T	VERSATZMATERIAL	BRUCIT-PULVER TS	368.898,24000	0,003001
T	VERSATZMATERIAL	ADS. WASSER BR.PULV.	13.181,76000	0,000107
Summe VERSATZMATERIAL			122.936.374,00000	1,000000
Gesamtsumme			212.180.378,89844	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	874.489,62738	4,12E-03
AG	A	26,76566	1,26E-07
AGCL	A	563,93492	2,66E-06
AGJ	A	20,93806	9,87E-08
AL	A	5.353,96357	2,52E-05
AL(NO3)3	A	680,84879	3,21E-06
AL(OH)3	A	14.004,72358	6,60E-05
ALPO4	A	129,78276	6,12E-07
ALUMINIUM	A	99.966,40218	4,71E-04
AL2O3	A	2.999.689,39512	1,41E-02
ARM. STAHL	A	891.770,60773	4,20E-03
AS	A	533,30233	2,51E-06
AS2O3	A	72,00000	3,39E-07
AU	A	0,00003	1,27E-13
B	A	4.245,49261	2,00E-05
BA	A	1.953,36865	9,21E-06
BABR2	A	224,74620	1,06E-06
BAO	A	30.794,06112	1,45E-04
BASO4	A	41.894,10343	1,97E-04
BAUSTAHL	A	635.840,00123	3,00E-03
BA3(ASO4)2	A	72,00000	3,39E-07
BE	A	15,91570	7,50E-08
BERYLLIUMPULVER	A	0,00100	4,71E-12
BI	A	883,21176	4,16E-06
BLEI	A	12.574,05927	5,93E-05
BR	A	287.066,55452	1,35E-03
BR03	A	98,34927	4,64E-07
B2O3	A	36.321,20029	1,71E-04
C	A	211.526,52680	9,97E-04
CA	A	42.545,39914	2,01E-04
CA(NO3)2	A	4.827,23602	2,28E-05
CACO3	A	1.191.305,55286	5,61E-03
CAF2	A	1.833,09013	8,64E-06
CAO	A	10.122.502,55645	4,77E-02
CASO4	A	759.515,25678	3,58E-03
CA10(ASO4)6(OH)2	A	72,00000	3,39E-07
CA10(PO4)6(OH)2	A	593,12658	2,80E-06
CA3(AS3)2	A	72,00000	3,39E-07
CA3(PO4)2	A	8,39116	3,95E-08
CD	A	49,51156	2,33E-07
CE	A	2.278,76938	1,07E-05
CHRYSOTIL	A	70.612,65026	3,33E-04
CL	A	3.719,08111	1,75E-05
CO	A	2.399,92688	1,13E-05
CO2	A	153,10800	7,22E-07
CO3	A	764,77446	3,60E-06
CR	A	70,02430	3,30E-07
CR (III)	A	1.252,62118	5,90E-06
CR (VI)	A	25,64566	1,21E-07
CR(NO3)3	A	226,94971	1,07E-06
CR(OH)3	A	130,47491	6,15E-07
CRPO4	A	560,58404	2,64E-06
CR2O3	A	4.986,88236	2,35E-05
CS	A	574,49960	2,71E-06
CU	A	2.988,04183	1,41E-05
CU(ASO2)2	A	131,10029	6,18E-07
CU(NO3)2	A	453,89943	2,14E-06
CUO	A	1.614,89958	7,61E-06
CU3(ASO3)2	A	72,00000	3,39E-07

## B 8

Komponente	Org/ Anorg	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
CU3(ASO4)2	A	62,40168	2,94E-07
EU	A	58,59693	2,76E-07
F	A	18.945,73175	8,93E-05
FE	A	43.235,19401	2,04E-04
FE(II)	A	123,25194	5,81E-07
FE(III)	A	125,54856	5,92E-07
FE(NO3)3	A	907,79850	4,28E-06
FE(OH)3	A	2.193,40740	1,03E-05
FEO	A	81.827,33465	3,86E-04
FE00H	A	550,64346	2,60E-06
FEPO4	A	11.841,35589	5,58E-05
FE2O3	A	7.535.495,40078	3,55E-02
FE4[FE(CN)6]3	A	1.049,41554	4,95E-06
GEB. WASSER	A	69.965.429,26143	3,30E-01
H	A	0,21916	1,03E-09
HCO3	A	7,65540	3,61E-08
HF	A	472,03080	2,22E-06
HG	A	3,32268	1,57E-08
HO	A	104,17231	4,91E-07
HYDRATWASSER	A	502.498,66522	2,37E-03
H3BO3	A	155.702,38917	7,34E-04
K	A	3.433,60015	1,62E-05
KCL	A	882.214,32708	4,16E-03
KNO3	A	226,94971	1,07E-06
KOBALT	A	316,80000	1,49E-06
KRISTALLWASSER	A	15.901,71298	7,49E-05
KUPFER	A	19.641,96379	9,26E-05
K2O	A	578.678,67861	2,73E-03
K2SO4	A	14,74927	6,95E-08
K4P2O7	A	83,69999	3,94E-07
LA	A	1.285,87701	6,06E-06
LI	A	3.850,37150	1,81E-05
MG	A	7.939,67879	3,74E-05
MG(NO3)2	A	2.042,54672	9,63E-06
MG(OH)2	A	18.931.477,83578	8,92E-02
MGCL2	A	29.730.123,48864	1,40E-01
MGCO3	A	180.948,14788	8,53E-04
MGO	A	770.300,16276	3,63E-03
MGSIO3	A	5.824,11350	2,74E-05
MGSO4	A	3.050.748,33295	1,44E-02
MN	A	3.861,15099	1,82E-05
MN(NO3)2	A	226,94971	1,07E-06
MNO	A	6.801,01523	3,21E-05
MNO2	A	7.552,07562	3,56E-05
MO	A	374,69291	1,77E-06
MOO3	A	480,67828	2,27E-06
N	A	0,84294	3,97E-09
NA	A	26.995,30206	1,27E-04
NA-HEXAMETAPHOSPHAT	A	519,51717	2,45E-06
NA-PYROPHOSPHAT	A	2.597,73778	1,22E-05
NAAL(OH)2CO3	A	278,92281	1,31E-06
NABO2	A	32.783,46946	1,55E-04
NACL	A	1.785.363,46315	8,41E-03
NAF	A	2.723,39551	1,28E-05
NANO3	A	908.809,68051	4,28E-03
NAOH	A	4.611,99631	2,17E-05
NA2B4O7	A	25.464,60212	1,20E-04
NA2CO3	A	975,59380	4,60E-06
NA2HPO4	A	21.435,75683	1,01E-04
NA2MOO4	A	907,79850	4,28E-06
NA2O	A	791.683,10853	3,73E-03
NA2S	A	17,28000	8,14E-08
NA2SIO3	A	1.434,15108	6,76E-06
NA2SO4	A	83.248,10795	3,92E-04
NA5-TRIPOLYPHOSPHAT	A	12.869,25336	6,07E-05

## B 9

Komponente	Org/ Anorg	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
NB	A	227,87694	1,07E-06
ND	A	1.139,38469	5,37E-06
NE-METALLE	A	1.068.015,43384	5,03E-03
NH4	A	38.016,66009	1,79E-04
NH4CL	A	1.652,32673	7,79E-06
NI	A	1.234,73218	5,82E-06
NI-TITANGELB	A	1.456,02838	6,86E-06
NI(NO3)2	A	226,94971	1,07E-06
NIO	A	4.356,60566	2,05E-05
NO2	A	8.183,31894	3,86E-05
NO3	A	6.068,35737	2,86E-05
O	A	584.979,73542	2,76E-03
P	A	212,79764	1,00E-06
PB	A	1.007,46399	4,75E-06
PBHASO4	A	72,00000	3,39E-07
PBO	A	13,10318	6,18E-08
PB4 (PBOH) (ASO4)3	A	72,00000	3,39E-07
PORENWASSER	A	2.575.080,02280	1,21E-02
PO4	A	13.713,30211	6,46E-05
PUO2	A	13,24681	6,24E-08
P2O5	A	16.418,49038	7,74E-05
RB	A	5.173,53324	2,44E-05
RUNO(NO3)3	A	453,89943	2,14E-06
S	A	100,29988	4,73E-07
SB	A	1.419,69269	6,69E-06
SC	A	374,36926	1,76E-06
SE	A	149,70128	7,06E-07
SI	A	1.140,06135	5,37E-06
SIC	A	3.339,36000	1,57E-05
SiO2	A	28.554.260,04644	1,35E-01
SM	A	227,87694	1,07E-06
SN	A	1.358,40481	6,40E-06
SO3	A	1.023,14617	4,82E-06
SO4	A	7.113,61437	3,35E-05
SR	A	888,59767	4,19E-06
SRO	A	48.155,96221	2,27E-04
STAHL GGG40	A	41.723,00000	1,97E-04
STAHL MRST37-2	A	8.522.702,75856	4,02E-02
STAHL RST37-2	A	24.952,95388	1,18E-04
STAHL ST 12.03	A	636.300,32404	3,00E-03
STAHL ST 1303	A	2.445.389,48063	1,15E-02
STAHL ST 37	A	60.756,68932	2,86E-04
STAHL ST 37-2 W 22	A	4.691.155,33020	2,21E-02
STAHL STW 22	A	1.112.901,74323	5,25E-03
STAHL 1.4301	A	53.187,29654	2,51E-04
STAHL 1.4306	A	80,50140	3,79E-07
STAHL 1.4541	A	59.691,27736	2,81E-04
STAHL 1.4571	A	2.170,58400	1,02E-05
SULFAMINSAEURE	A	5,02513	2,37E-08
TE	A	270,08859	1,27E-06
TH	A	222,96090	1,05E-06
THO2	A	99.242,22890	4,68E-04
TI	A	1.817,37115	8,57E-06
TiO2	A	58.424,48446	2,75E-04
TL	A	3,26707	1,54E-08
TM	A	472,03080	2,22E-06
U	A	70,15223	3,31E-07
U3O8	A	120.824,08115	5,69E-04
V	A	1.034,97065	4,88E-06
Y	A	240,84476	1,14E-06
YB	A	113,93847	5,37E-07
ZINK	A	14.301,91800	6,74E-05
ZIRCALOY 2	A	35.822,67000	1,69E-04
ZN	A	8.358,95492	3,94E-05
ZN(NO3)2	A	453,89943	2,14E-06

## B 10

Komponente	Org/ Anorg	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
ZN(OH)2	A	58,72059	2,77E-07
ZNO	A	4.941,26459	2,33E-05
ZN3(PO4)2	A	2.936,35919	1,38E-05
ZRO(NO3)2	A	226,94971	1,07E-06
ZRO2	A	7.915,11013	3,73E-05
		-----	-----
Summe anorganisch		205.550.962,94722	0,968756
-N(CH3)3	O	13.191,04512	6,22E-05
(NH4)2HC6H5O7	O	296,29831	1,40E-06
ABIETINSS.ETHYLESTER	O	192,61614	9,08E-07
ACETON (C3H6O)	O	1.321,25078	6,23E-06
ACRYLGLAS	O	73.418,32204	3,46E-04
AOX S.FLUID ASSE	O	4,30981	2,03E-08
ARYLAMIDGELB	O	882,44144	4,16E-06
BAUMWOLLFASER	O	449.335,88730	2,12E-03
BENZOYLPEROXID	O	903,33802	4,26E-06
BENZYLALKOHOL	O	324,77419	1,53E-06
BISPH.DGL.E	O	12.706,27429	5,99E-05
BITUMEN (ORG.ANTEIL)	O	305.918,96035	1,44E-03
BUTYLDIGLYKOL	O	1.298,79294	6,12E-06
BUTYLGLYKOL	O	357,13008	1,68E-06
C	O	4,15449	1,96E-08
CARBOXYMETHYLCELL.	O	177,45939	8,36E-07
CH3COONA	O	3.249,99276	1,53E-05
CU(CH3COO)2	O	12,89971	6,08E-08
DBSA NA-SALZ	O	6.121,76102	2,89E-05
DIAETHYLENGLYKOL	O	39,03974	1,84E-07
DIBUTYLPHOSPHAT	O	113,47572	5,35E-07
DICHLORMETHAN CH2CL2	O	880,83386	4,15E-06
DIOCTYLPHTHALAT(DOP)	O	77.017,82811	3,63E-04
DIOXAN (C4H8O2)	O	1.761,66771	8,30E-06
DIVINYLBENZOL	O	1.806,67604	8,51E-06
DODECYL.DIM.B.AM.CL	O	6,50156	3,06E-08
DODECYLPOLYGLY.7 ŽO	O	11.817,37057	5,57E-05
EOX BRUCIT TS	O	130,88534	6,17E-07
EPDM-KAUTSCHUK	O	5.404,95382	2,55E-05
ETHANOL (C2H5OH)	O	880,83386	4,15E-06
ETHYLACETAT (C4H8O2)	O	1.761,66771	8,30E-06
ETHYLBENZOL C6H5C2H5	O	440,41693	2,08E-06
ETHYLEN-VA-KAUTSCHUK	O	52.412,73003	2,47E-04
ETHYLENGLYKOL	O	2.542,15086	1,20E-05
F	O	61,61426	2,90E-07
FE(HCOO)3	O	29,29376	1,38E-07
FE(NH4)-EDTA	O	46,28694	2,18E-07
FORMALDEHYD	O	164,55282	7,76E-07
FULVOSAEUREN R.V.	O	57.132,93719	2,69E-04
GELATINE	O	1.035,64500	4,88E-06
HEDP-NA	O	389,63788	1,84E-06
HOLZ (ORG. ANTEIL)	O	100.456,61462	4,73E-04
HUMINE R.V.	O	52.769,73722	2,49E-04
HUMINE R.V. S.FLUID	O	2.908,10445	1,37E-05
HUMINSAEUREN R.V.	O	60.077,51735	2,83E-04
KEROSIN R.V.	O	15.776,76952	7,44E-05
KOLLAGENE TS R.V.	O	2.375,15976	1,12E-05
K3C6H5O7	O	113,42847	5,35E-07
LIGNIN	O	33.129,97664	1,56E-04
MARLOPHEN 812	O	2.723,39551	1,28E-05
MARLOX FK 64	O	2.723,39551	1,28E-05
METHANOL (CH3OH)	O	470,33562	2,22E-06
MONOBUTYLPHOSPHAT	O	113,47572	5,35E-07
MONOSTEARYLPHOSPHAT	O	1.493,68783	7,04E-06
N	O	366,61973	1,73E-06
NA-ABIETAT	O	1.733,54529	8,17E-06
NA-PALMITAT	O	6.297,21124	2,97E-05
NA-TOLUOLSULFONAT	O	259,75859	1,22E-06

## B 11

Komponente	Org/ Anorg	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
NA2-EDTA	O	0,08593	4,05E-10
NA2-HYDROGENCITRAT	O	324,77419	1,53E-06
NA2C2O4	O	13.521,68556	6,37E-05
NA2C4H4O6	O	13.287,55949	6,26E-05
NA3C6H5O7	O	13.808,02213	6,51E-05
NEOPREN [C4H5CL]	O	34.068,27452	1,61E-04
O	O	4.929,14100	2,32E-05
OEL (C10H22)	O	52.577,70629	2,48E-04
PA NYLON 6 [C6H11ON]	O	50.316,22083	2,37E-04
PALMITINS.MYRICYLEST	O	2.724,65404	1,28E-05
PARAFFIN	O	1.951,18759	9,20E-06
PE	O	286.272,30273	1,35E-03
PETP	O	52.412,73003	2,47E-04
PFLANZ.ABF.(ORG.ATL)	O	776,02950	3,66E-06
PHB-METHYLESTER	O	116,96732	5,51E-07
PHTHALSAEUREANHYDRID	O	3.795,38063	1,79E-05
POLYDIMETHYLSILOXANE	O	2.162,00936	1,02E-05
POLYESTER	O	52.412,73003	2,47E-04
POLYISOPREN	O	220.124,04008	1,04E-03
POLYSTYROL	O	188.348,51799	8,88E-04
POPOP	O	0,44042	2,08E-09
PP	O	66.473,70448	3,13E-04
PPO	O	6,60625	3,11E-08
PROPYLENGLYKOL	O	162,38709	7,65E-07
PTFE	O	6.289,52760	2,96E-05
PUR	O	50.012,22700	2,36E-04
PVC	O	301.539,44277	1,42E-03
RUSS (ORG. ANTEIL)	O	3.305,84624	1,56E-05
S	O	12.630,95785	5,95E-05
SI-KAUTSCHUK	O	59.344,49864	2,80E-04
SO3	O	14.999,52719	7,07E-05
TIERKOERPER(ORG.ATL)	O	267,80412	1,26E-06
TOLUOL (C6H5CH3)	O	880,83386	4,15E-06
TRIBUTYLPHOSPHAT	O	7.195,91924	3,39E-05
TRIETHANOLAMINOLEAT	O	324,77419	1,53E-06
VDK/SALZE (ORG. ATL)	O	12.886,16095	6,07E-05
XYLOL	O	433,37026	2,04E-06
ZELLSTOFF (C6H10O5)	O	25.489,74800	1,20E-04
ZELLULOSE (C6H10O5)	O	2.851.198,51474	1,34E-02
ZELLULOSE PAPIER	O	852.390,20010	4,02E-03
1,1,1-TRICHLORETHAN	O	270,00000	1,27E-06
Summe organisch		6.629.415,95121	0,031244
Summe Gesamt		212.180.378,89844	1,000000

#### 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	75,41132	3,55E-07
AG	A LEG	0,46720	2,20E-09
AG	A MIN	3,25538	1,53E-08
AG	A SALZ	382,15578	1,80E-06
AL	A ANORG	12.125,44980	5,71E-05
AL	A LEG	99.601,11322	4,69E-04
AL	A MET	72.625,04950	3,42E-04
AL	A MIN	1.574.948,19754	7,42E-03
AL	A OXID	10.387,05599	4,90E-05
AL	A SALZ	492,43028	2,32E-06
AS	A ANORG	298,21092	1,41E-06
AS	A LEG	0,12574	5,93E-10
AS	A MIN	235,09141	1,11E-06
AS	A OXID	54,53211	2,57E-07
AS	A SALZ	206,53470	9,73E-07
AU	A ANORG	0,00003	1,27E-13
B	A ANORG	30.517,95363	1,44E-04
B	A LEG	0,01791	8,44E-11
B	A MIN	11.443,07284	5,39E-05
B	A OXID	466,63673	2,20E-06
B	A SALZ	11.180,40842	5,27E-05
BA	A ANORG	5.177,83602	2,44E-05
BA	A MIN	47.125,16115	2,22E-04
BA	A OXID	1.881,59970	8,87E-06
BA	A SALZ	146,87162	6,92E-07
BE	A ANORG	4,51216	2,13E-08
BE	A MET	0,00100	4,71E-12
BE	A MIN	11,40354	5,37E-08
BI	A ANORG	557,67327	2,63E-06
BI	A LEG	11,31665	5,33E-08
BI	A MIN	325,53848	1,53E-06
BR	A ANORG	287.127,99600	1,35E-03
BR	A SALZ	120,87516	5,70E-07
C	A ANORG	111.444,17513	5,25E-04
C	A ELEM	62.088,17267	2,93E-04
C	A LEG	28.409,03787	1,34E-04
C	A MIN	203.545,18040	9,59E-04
C	A OXID	4.515,83928	2,13E-05
C	A SALZ	264,04590	1,24E-06
CA	A ANORG	158.761,08876	7,48E-04
CA	A LEG	0,99966	4,71E-09
CA	A MIN	7.797.580,78611	3,67E-02
CA	A OXID	17.923,85911	8,45E-05
CA	A SALZ	5.766,67870	2,72E-05
CD	A ANORG	16,88997	7,96E-08
CD	A LEG	15,75002	7,42E-08
CD	A MIN	6,52661	3,08E-08
CD	A SALZ	26,09498	1,23E-07
CE	A MIN	2.278,76938	1,07E-05
CL	A ANORG	261,52751	1,23E-06
CL	A MIN	1.144,89411	5,40E-06
CL	A SALZ	23.646.845,85104	1,11E-01
CO	A ANORG	0,38524	1,82E-09
CO	A LEG	1.387,21787	6,54E-06
CO	A MET	316,80000	1,49E-06
CO	A MIN	1.304,41863	6,15E-06
CO	A SALZ	1.095,12301	5,16E-06
CR	A ANORG	70,02430	3,30E-07
CR	A LEG	20.756,77780	9,78E-05

## B 13

Element	Form	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
CR (III)	A ANORG	199,41221	9,40E-07
CR (III)	A MIN	85,43307	4,03E-07
CR (III)	A OXID	3.412,03700	1,61E-05
CR (III)	A SALZ	1.281,54072	6,04E-06
CR (VI)	A ANORG	4,81119	2,27E-08
CR (VI)	A MIN	20,83446	9,82E-08
CS	A ANORG	379,17651	1,79E-06
CS	A MIN	195,32309	9,21E-07
CU	A ANORG	126,82127	5,98E-07
CU	A LEG	76.996,81038	3,63E-04
CU	A MET	775.379,20497	3,65E-03
CU	A MIN	814,04008	3,84E-06
CU	A OXID	2.253,94800	1,06E-05
CU	A SALZ	1.323,97845	6,24E-06
EU	A LEG	0,00380	1,79E-11
EU	A MIN	58,59693	2,76E-07
F	A ANORG	5.543,10124	2,61E-05
F	A MIN	11.415,98924	5,38E-05
F	A SALZ	4.111,01024	1,94E-05
FE	A ANORG	41.753,95174	1,97E-04
FE	A LEG	18.959.529,62246	8,94E-02
FE	A MIN	662.957,21290	3,12E-03
FE	A OXID	4.673.211,49196	2,20E-02
FE	A SALZ	6.247,81442	2,94E-05
H	A ANORG	8.671,69948	4,09E-05
H	A LEG	0,89557	4,22E-09
H	A MIN	655.038,07010	3,09E-03
H	A SALZ	8.599,25019	4,05E-05
HF	A LEG	3,58227	1,69E-08
HF	A MIN	472,03080	2,22E-06
HG	A ANORG	2,34421	1,10E-08
HG	A MIN	0,97848	4,61E-09
HO	A LEG	0,00380	1,79E-11
HO	A MIN	104,17231	4,91E-07
H2O	A ANORG	73.933.399,28982	3,48E-01
I	A SALZ	11,31790	5,33E-08
K	A ANORG	1.383,70426	6,52E-06
K	A MIN	480.234,57049	2,26E-03
K	A OXID	632,21750	2,98E-06
K	A SALZ	464.383,57262	2,19E-03
LA	A MIN	1.285,87701	6,06E-06
LI	A ANORG	963,40947	4,54E-06
LI	A MIN	1.791,83901	8,44E-06
LI	A SALZ	1.095,12301	5,16E-06
MG	A ANORG	56.523,93666	2,66E-04
MG	A LEG	26,14309	1,23E-07
MG	A MIN	8.030.576,18404	3,78E-02
MG	A OXID	346.680,31987	1,63E-03
MG	A SALZ	8.206.990,81840	3,87E-02
MN	A ANORG	3.880,10226	1,83E-05
MN	A LEG	61.118,50347	2,88E-04
MN	A MET	961,21389	4,53E-06
MN	A MIN	8.224,98809	3,88E-05
MN	A OXID	886,79121	4,18E-06
MN	A SALZ	978,42962	4,61E-06
MO	A ANORG	350,27752	1,65E-06
MO	A LEG	118,00172	5,56E-07
MO	A MIN	24,41539	1,15E-07
MO	A OXID	320,38940	1,51E-06
MO	A SALZ	422,95745	1,99E-06
N	A ANORG	2.674,75386	1,26E-05
N	A LEG	1.322,28772	6,23E-06
N	A SALZ	183.103,40429	8,63E-04
NA	A ANORG	10.090,27858	4,76E-05
NA	A LEG	0,39284	1,85E-09

## B 14

Element	Form	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
NA	A MIN	587.357,42652	2,77E-03
NA	A OXID	556,95351	2,62E-06
NA	A SALZ	1.026.005,26856	4,84E-03
NB	A LEG	9,54041	4,50E-08
NB	A MIN	227,87694	1,07E-06
ND	A MIN	1.139,38469	5,37E-06
NI	A ANORG	85,99878	4,05E-07
NI	A LEG	12.118,53553	5,71E-05
NI	A MET	5.340,07717	2,52E-05
NI	A MIN	1.141,77403	5,38E-06
NI	A OXID	2.392,81078	1,13E-05
NI	A SALZ	1.156,74353	5,45E-06
O	A ANORG	732.597,34294	3,45E-03
O	A LEG	48,87979	2,30E-07
O	A MIN	31.644.102,50321	1,49E-01
O	A OXID	2.332.731,79717	1,10E-02
O	A SALZ	2.245.117,40576	1,06E-02
P	A ANORG	7.388,84602	3,48E-05
P	A LEG	8.136,97659	3,83E-05
P	A MIN	7.171,04150	3,38E-05
P	A SALZ	9.162,69782	4,32E-05
PB	A ANORG	225,45992	1,06E-06
PB	A LEG	12.699,76115	5,99E-05
PB	A MET	1.068,01543	5,03E-06
PB	A MIN	651,52916	3,07E-06
PB	A OXID	12,16392	5,73E-08
PB	A SALZ	224,20265	1,06E-06
PU	A OXID	11,71100	5,52E-08
RB	A ANORG	1.592,60992	7,51E-06
RB	A MIN	3.580,92332	1,69E-05
RU	A SALZ	144,67651	6,82E-07
S	A ANORG	1.509,00169	7,11E-06
S	A LEG	7.925,57814	3,74E-05
S	A MIN	182.767,65290	8,61E-04
S	A SALZ	834.804,61767	3,93E-03
SB	A ANORG	233,19584	1,10E-06
SB	A LEG	0,25148	1,19E-09
SB	A MIN	183,92924	8,67E-07
SB	A SALZ	1.095,12301	5,16E-06
SC	A MIN	374,36926	1,76E-06
SE	A ANORG	147,25337	6,94E-07
SE	A MIN	2,44791	1,15E-08
SI	A ANORG	267.879,11943	1,26E-03
SI	A LEG	20.667,08118	9,74E-05
SI	A MIN	13.065.270,19405	6,16E-02
SI	A OXID	33.246,50484	1,57E-04
SI	A SALZ	1.095,12301	5,16E-06
SM	A LEG	0,00380	1,79E-11
SM	A MIN	227,87694	1,07E-06
SN	A ANORG	219,02012	1,03E-06
SN	A LEG	566,46949	2,67E-06
SN	A MET	8.116,91730	3,83E-05
SN	A MIN	1.139,38469	5,37E-06
SR	A ANORG	888,59767	4,19E-06
SR	A MIN	40.720,41923	1,92E-04
TA	A LEG	0,01999	9,42E-11
TE	A ANORG	268,46089	1,27E-06
TE	A MIN	1,62769	7,67E-09
TH	A MIN	222,96090	1,05E-06
TH	A OXID	87.215,00000	4,11E-04
TI	A ANORG	4.630,60948	2,18E-05
TI	A LEG	249,61803	1,18E-06
TI	A MET	1.680,77178	7,92E-06
TI	A MIN	23.396,05807	1,10E-04
TI	A OXID	7.912,94987	3,73E-05

## B 15

Element	Form	Masse Gesamt [kg]	Anteil am Gesamtinv. [kg/kg]
TL	A MIN	3,26707	1,54E-08
TM	A MIN	472,03080	2,22E-06
U	A ANORG	3,26177	1,54E-08
U	A LEG	0,16120	7,60E-10
U	A MIN	66,89046	3,15E-07
U	A OXID	102.459,00000	4,83E-04
V	A ANORG	56,06131	2,64E-07
V	A LEG	4,99832	2,36E-08
V	A MIN	978,90934	4,61E-06
W	A LEG	3,58227	1,69E-08
Y	A OXID	240,84476	1,14E-06
YB	A MIN	113,93847	5,37E-07
ZN	A ANORG	2.685,54487	1,27E-05
ZN	A LEG	14.103,61853	6,65E-05
ZN	A MET	204.524,95558	9,64E-04
ZN	A MIN	4.884,60518	2,30E-05
ZN	A OXID	5.094,88488	2,40E-05
ZN	A SALZ	1.351,03255	6,37E-06
ZR	A LEG	35.095,41438	1,65E-04
ZR	A MIN	5.859,69485	2,76E-05
ZR	A SALZ	89,53409	4,22E-07
Summe anorganisch		205.550.962,94722	0,968756
C	O ORG	3.512.089,80006	1,66E-02
C	O SALZ	10.765,72067	5,07E-05
CA	O ORG	3,84925	1,81E-08
CL	O ORG	187.027,31559	8,81E-04
CU	O ORG	0,00027	1,27E-12
CU	O SALZ	4,51306	2,13E-08
F	O ORG	4.840,53607	2,28E-05
FE	O ORG	0,01615	7,61E-11
FE	O SALZ	15,70831	7,40E-08
H	O ORG	471.700,01625	2,22E-03
H	O SALZ	697,14981	3,29E-06
I	O ORG	0,00005	2,54E-13
K	O SALZ	43,42303	2,05E-07
MG	O ORG	0,07268	3,43E-10
MN	O ORG	0,00005	2,54E-13
N	O ORG	19.779,99435	9,32E-05
N	O SALZ	42,07587	1,98E-07
NA	O ORG	1.136,06810	5,35E-06
NA	O SALZ	12.452,47593	5,87E-05
O	O ORG	2.333.338,87418	1,10E-02
O	O SALZ	20.669,26058	9,74E-05
P	O ORG	1.117,38844	5,27E-06
S	O ORG	30.396,34650	1,43E-04
SI	O ORG	23.295,33711	1,10E-04
ZN	O ORG	0,00888	4,19E-11
Summe organisch		6.629.415,95121	0,031244
Summe Gesamt		212.180.378,89844	1,000000

## ANHANG C CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG VON VERSATZMATERIAL

### C.1 Materialzusammensetzung Brucit-Granulat, geordnet nach Komponenten [Ma.-%]

Der Wasseranteil von Brucit-Granulat beträgt 3,45 Gew.-%. Die untenstehende Zusammensetzung bezieht sich auf den Trockensubstanzanteil.

Material	Komponente	Komponente %
Brucit-Granulat TS	MG(OH)2	86,78582460
	MGCL2	4,41426082
	MGO	2,59074162
	SIO2	2,46000000
	CACO3	1,54358284
	MGCO3	0,80720998
	TOC BRUCIT-GRAN. TS	0,62000000
	MGSO4	0,28027316
	FE	0,17460000
	NACL	0,11871643
	KCL	0,04538084
	PO4	0,03198173
	BR	0,03000000
	F	0,02380000
	NO3	0,01830000
	AL	0,01760000
	MN	0,01680000
	B	0,00680000
	RB	0,00200000
	MO	0,00160000
	AS	0,00134000
	TE	0,00120000
	SR	0,00110000
	CS	0,00100000
	ZN	0,00100000
	SN	0,00080000
	EOX BRUCIT-GRAN. TS	0,00061000
	SB	0,00060000
	NH4	0,00050000
	PB	0,00050000
	SE	0,00050000
	TI	0,00050000
	AG	0,00010000
	BI	0,00010000
	BRO3	0,00010000
	CR	0,00010000
	CU	0,00010000
	LI	0,00010000
	NI	0,00010000
	NO2	0,00008700
	CD	0,00005000
BE	0,00002000	
BA	0,00001000	
HG	0,00001000	
CR (VI)	0,00000100	
	-----	
Brucit-Granulat TS		100,00000000

## C.2 Materialzusammensetzung Brucit-Pulver, geordnet nach Komponenten [Ma.-%]

Der Wasseranteil von Brucit-Pulver beträgt 3,45 Gew.-%. Die untenstehende Zusammensetzung bezieht sich auf den Trockensubstanzanteil.

Material	Komponente	Komponente %
Brucit-Pulver TS	MG(OH)2	90,06343410
	MGO	2,68858524
	SIO2	2,59000000
	MGCO3	2,12872847
	CACO3	1,55931584
	TOC BRUCIT-PULVER TS	0,22000000
	FE	0,20260000
	PO4	0,15214738
	MGSO4	0,15195989
	BR	0,06000000
	NACL	0,05821426
	F	0,02700000
	NO3	0,02490000
	MN	0,01840000
	AL	0,01650000
	KCL	0,00859161
	B	0,00800000
	K2SO4	0,00399820
	CS	0,00320000
	SN	0,00300000
	RB	0,00220000
	AS	0,00217000
	SB	0,00120000
	SR	0,00100000
	TE	0,00100000
	MO	0,00090000
	NH4	0,00056000
	PB	0,00050000
	SE	0,00050000
	TI	0,00040000
	CR	0,00010000
	CU	0,00010000
	BI	0,00010000
	BRO3	0,00010000
	AG	0,00010000
	LI	0,00010000
	NI	0,00010000
	ZN	0,00010000
	NO2	0,00005400
	EOX BRUCIT-PULVER TS	0,00005000
	CD	0,00005000
BE	0,00002000	
BA	0,00001000	
HG	0,00001000	
CR (VI)	0,00000100	
	-----	
Brucit-Pulver TS		100,00000000

### C.3 Materialzusammensetzung Schutzfluid, geordnet nach Komponenten [Ma.-%]

Material	Komponente	Komponente %
Schutzfluid	GEB. WASSER S.FLUID	65,45053388
	MGCL2	28,68040000
	MGSO4	2,97934140
	NACL	1,70198621
	KCL	0,86840219
	BR	0,27940503
	CA	0,01983219
	DOC S.FLUID ASSE	0,00905747
	B	0,00212052
	NO3	0,00204805
	NH4	0,00155301
	RB	0,00115179
	LI	0,00093822
	CO3	0,00076201
	SR	0,00064073
	BI	0,00053394
	MN	0,00018688
	CO2	0,00015256
	CS	0,00015256
	ZN	0,00013616
	FE(III)	0,00012510
	FE(II)	0,00012281
	BRO3	0,00007628
	CU	0,00006850
	AL	0,00005339
	CR	0,00004805
	SE	0,00003814
	SI	0,00003738
	SN	0,00003051
	F	0,00001526
	HCO3	0,00000763
	SB	0,00000763
	TE	0,00000763
	CR (VI)	0,00000458
	NO2	0,00000458
	AOX S.FLUID ASSE	0,00000429
	U	0,00000325
	AS	0,00000297
	MO	0,00000229
	PO4	0,00000229
	AG	0,00000153
	TI	3,81E-07
	PB	3,05E-07
	BA	1,53E-07
	BE	1,53E-07
	NI	7,63E-08
	CD	3,81E-08
HG	2,29E-08	
	-----	
Schutzfluid		100,00000000