

## DECKBLATT

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
EU 343	9K		M	EJ	0001	00

Titel der Unterlage: Erläuternde Unterlagen zur chemischen Wechselwirkung und Chemotoxizität <u>hier:</u> Stellungnahme zur sicherheitstechnischen Begutachtung	Seite: I.
	Stand: 06.03.1990

Ersteller: Bfs	Textnummer:
-------------------	-------------

Stempelfeld:

PSP-Element TP....9K/212	zu Plan-Kapitel: 3
--------------------------	--------------------

	PL  20/03/90	
	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.

# Revisionsblatt

BfS

EU 343	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K			M	EJ	0001	00

<b>Titel der Unterlage:</b> Erläuternde Unterlagen zur chemischen Wechselwirkung und Chemotoxizität <u>hier:</u> Stellungnahme zur sicherheitstechnischen Begut- achtung	Seite: II. Stand: 06.03.1990
--	---------------------------------------

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Änderung  
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

6.3.1990

**Erläuternde Unterlagen zur chemischen Wechselwirkung und Chemotoxizität  
hier: Stellungnahme zur sicherheitstechnischen Begutachtung**

Schreiben des Niedersächsischen Umweltministers (Az.: 402-40 326/03-2/3) vom 19.09.89

Mit seinem o. a. Schreiben hat der NMU die Stellungnahme des Technischen Überwachungs-Vereins Hannover e. V. (TÜV-Schreiben KTS-[REDACTED] GK-100.01.1 Gk-07.2 vom 08.09.89) übersandt. Hierin hat der TÜV u. a. das Ergebnis seiner Durchsicht der erläuternden Unterlagen

- Mögliche chemische Reaktionen radioaktiver Abfälle aus dem Bereich von Kernkraftwerken (lfd. Nr. 221)
- Mögliche chemische Reaktionen radioaktiver Abfälle (ohne Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken) (lfd. Nr. 222)
- Plausibilitätsbetrachtung zur Chemotoxizität radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (lfd. Nr. 251)

zusammengefaßt. Zu den Ausführungen des TÜV wird nachfolgend Stellung genommen.

**I. Mögliche chemische Reaktionen radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung**

Erläuternde Unterlage, lfd. Nr. 221

Zur Bildung von Aminen aus Anionentauscherharzen wird die Ausarbeitung

- Gesellschaft für Nuklear-Service mbH  
"Bildung von Aminen aus Anionentauscherharzen"  
Essen, 23.11.1989

vorgelegt (Anlage 1). In dieser Unterlage werden als mögliche Bildungsmechanismen chemische Reaktionen (z. B. Hydrolyse), Radiolyse sowie thermische und mikrobiologische Zersetzungsprozesse diskutiert. Aus den angegebenen Bildungsraten ist zu schließen, daß Amine nicht in nennenswerten Mengen entstehen.

Nach Angaben der Ablieferungspflichtigen sollen entwässerte Ionenaustauscherharze (Kugel- und Pulverharze) entweder in unfixierter Form in dickwandigen Gußbehältern oder in zementierter Form in Innenbehältern (z. B. 200-l- oder 400-l-Fässer) verpackt werden, die z. B. in zylindrische Betonbehälter und/oder Stahlblechcontainer eingesetzt und vergossen werden. In den Einlagerungskammern des Endlagers Konrad werden die Resthohlräume um die Abfallgebände abschnittsweise mit Pumpversatz versetzt, bis die Kammern befüllt und verschlossen werden. Durch diese technischen Barrieren Abfallbehälter/Verpackung, Pumpversatz und Kammerverschluß ist bei den o. a. geringen Bildungsraten sichergestellt, daß mögliche Auswirkungen der Aminbildung wie Geruchsbelästigungen oder gesundheitliche Beeinträchtigungen des Personals stark reduziert bzw. verhindert werden.

#### **Erläuternde Unterlage, lfd. Nr. 222**

Aufgrund der geänderten Randbedingungen bei der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland (Verzicht auf die Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf, Verlagerung der Wiederaufarbeitung in das europäische Ausland) sind bituminierte radioaktive Abfälle verstärkt zu erwarten. In diesem Zusammenhang sind prinzipiell mögliche chemische Reaktionen dieser Abfälle zu identifizieren, ihre möglichen Auswirkungen anzugeben und eine sicherheitsmäßige Bewertung vorzunehmen.

Eine derartige Ergänzung zu der erläuternden Unterlage lfd. Nr. 222 wird gegen Ende des II. Quartals 1990 vorgelegt.

## II. Chemotoxizität radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung

Erläuternde Unterlage, lfd. Nr. 251

### 1 Abbau durch Hydrolyse und Radiolyse

Zum Abbau von organischen chemotoxischen Stoffen durch Hydrolyse und Radiolyse wurden mit Schreiben (Az.: ET 1.4 [REDACTED] vom 07.12.89 die beiden Ausarbeitungen

- Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG  
"Strahlenchemischer Aufbau oder Abbau chemotoxischer Stoffe in radioaktiven Abfällen"  
Zürich, Februar 1989
- Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG  
"Chemischer Abbau toxischer Stoffe in radioaktiven Abfällen"  
Zürich, Februar 1989

als erläuternde Unterlagen, lfd. Nrn. 317 und 318, vorgelegt.

### 2 Cyanoferrate und Bariumverbindungen

Die Ermittlung der erforderlichen Basisdaten zu organischen und anorganischen chemotoxischen Stoffen erfolgte durch eine Bestandsaufnahme. In diesem Rahmen wurden bei den Ablieferungspflichtigen u. a. auch Angaben zu Cyanoferraten und Bariumverbindungen ermittelt.

In radioaktiven Abfällen (hier: Fällschlämme) aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen aus deutschen Kernkraftwerken in Anlagen des europäischen Auslandes sind u. a. Cyanoferrate enthalten. Die kumulierte Masse dieser komplexen Verbindungen in ca. 500 000 m<sup>3</sup> Abfallgebinderolumen wird in der Größenordnung von 75 Mg erwartet.

## 2.1 Cyanoferrate

Zur Chemotoxizität von Cyanoferraten ist grundsätzlich anzumerken, daß es sich bei diesen Verbindungen um sehr stabile und schwer lösliche Durchdringungskomplexe handelt /1/. Erst nach einer Zerstörung der Komplexverbindung (z. B. durch heiße Säure) können Cyanid-Ionen ( $\text{CN}^-$ ) als toxische Spezies nachgewiesen werden. Im einzelnen sei darauf hingewiesen, daß

- Cyanokomplexe von Eisen und Kupfer sehr gering dissoziiert (z. B. Beständigkeitskonstante von  $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-}$  :  $K = 10^{27}$ ) und daher starke Komplexe sind;
- die Komplexionen  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ , Hexacyanoferrat(II)-Ion, und  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ , Hexacyanoferrat(III)-Ion, als sehr starke Durchdringungskomplexe nur schwer löslich sind;
- das komplexe Hexacyanoferrat(II)-Ion zu den chemisch beständigsten Komplexionen gehört.

Komplexe Cyanoverbindungen werden sowohl in der Medizin und Nahrungsmittelindustrie als auch im Bereich der konventionellen Technik eingesetzt:

- Wegen des starken komplexen Charakters des Hexacyanoferrat(II)-Radikals ist gelbes Blutlaugensalz (Kaliumhexacyanoferrat (II),  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ) nicht giftig /2/. Es eignet sich als Gegenmittel bei Vergiftungen mit ätzenden Kupfer- und Eisensalzen.
- Eisen(III)hexacyanoferrat(II),  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ , i. a. als "Berliner Blau" bekannt, wird als hochwirksames Antidot bei Vergiftungen durch radioaktives Caesium und durch Thallium verwendet /3/.
- In der Nahrungsmittelindustrie wird z. B. Kaliumhexacyanoferrat(II) dem gewöhnlichen Speisesalz zur Erhaltung der Rieselfähigkeit zugesetzt (Anlage 2).
- In der konventionellen Technik wird das "Berliner Blau" als Färbungs- und Anstrichmittel, in der Kunstmalerei, zum Papierdruck (Tapeten) sowie zur Herstellung von Tinten, Kohlepapier, Farbbändern oder Druckfarben benutzt /2, 3/.

## 2.2 Bariumverbindungen

Von den Bariumverbindungen ist hauptsächlich Bariumsulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) in den endzulagernden Abfallgebinden enthalten. Die kumulierte Masse von  $\text{BaSO}_4$  in ca.  $500\,000\text{ m}^3$  Abfallgebinderolumen wird in der Größenordnung von 400 Mg erwartet.

In Bezug auf eine Bewertung seiner Chemotoxizität sei angemerkt, daß  $\text{BaSO}_4$  nur schwer löslich und chemisch sehr beständig ist. In Wasser, Säuren und Laugen ist Bariumsulfat praktisch unlöslich. 100 g Wasser lösen bei  $18^\circ\text{C}$  nur 0,22 mg  $\text{BaSO}_4$  /3, 4/. In heißer, konzentrierter Schwefelsäure kann die Löslichkeit infolge Hydrogensulfatbildung dagegen bis auf 12 % steigen. Infolge seiner äußerst geringen Löslichkeit ist  $\text{BaSO}_4$  im Gegensatz zu anderen Bariumverbindungen ungiftig /3/.

Wie die komplexen Cyanoverbindungen wird auch Bariumsulfat in der Medizin und im Bereich der konventionellen Technik eingesetzt:

- Aufgrund seines hohen Absorptionsvermögens für Röntgenstrahlung ist Bariumsulfat in zahlreichen Röntgenkontrastmitteln enthalten und wird in der Röntgendiagnostik als "Röntgenbaryt" oft verwendet /3, 5/.
- In der konventionellen Technik wird Bariumsulfat z. B. als Farbe ("Permanentweiß", "Blanc fixe"), Zusatz zu Mineralfarben und organischen Lackfarben, Füllmaterial bzw. Zusatz für Tapeten, Kartons, Kunstdruck- und Photopapiere, Füllstoff in der Kautschukindustrie, zur Opazifizierung in der Kunststoffindustrie oder als Weißwaren-Appretur in der Textilindustrie benutzt /3, 4/.

## 2.3 Schlußfolgerung

Vor dem Hintergrund der o. a. Darlegungen sind Cyanoferrate und Bariumverbindungen im Rahmen der vom NMU erbetenen Plausibilitätsbetrachtung nicht als chemotoxische Stoffe anzusehen. Sie werden in vergleichsweise geringen Massen im Endlager Konrad erwartet und spielen gegenüber den anorganischen chemotoxischen Stoffen, die bei den Betrachtungen zur Chemotoxizität radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung berücksichtigt worden sind, nur eine untergeordnete Rolle.

## 2.4 Literatur

- /1/ G. Jander/E. Blasius  
"Lehrbuch der analytischen und präparativen anorganischen Chemie"  
S. Hirzel Verlag, Stuttgart (1985)
- /2/ H. Remy  
"Lehrbuch der Anorganischen Chemie"  
Band II  
Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., Leipzig (1973)
- /3/ O.-A. Neumüller  
"Römpps Chemie-Lexikon"  
Band 1: A - Cl  
Frankh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co, Stuttgart (1979)
- /4/ H. Remy  
"Lehrbuch der Anorganischen Chemie"  
Band I  
Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., Leipzig (1970)
- /5/ O.-A. Neumüller  
"Römpps Chemie-Lexikon"  
Band 5: P1 - S  
Frankh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co, Stuttgart (1987)

## 3. Unterschiede in den Tab. 9 und 10

In Tab. 9 sind die identifizierten, möglicherweise in den endzulagernden Abfallgebinden enthaltenen anorganischen chemotoxischen Stoffe zusammengestellt, die der Bestandsaufnahme bei den Ablieferungspflichtigen zugrundelag und abgefragt wurde.

In Tab. 10 ist die kumulierte Masse von denjenigen anorganischen chemotoxischen Elementen in ca. 500 000 m<sup>3</sup> Abfallgebinderolumen angegeben, die in den nachfolgenden Plausibilitätsbetrachtungen zum Vergleich der Inventare chemotoxischer Stoffe verwendet werden.

Zur Vermeidung von etwaigen Mißverständnissen wird eine Revision von S. 10 und 11 und 32 der erläuternden Unterlage lfd. Nr. 251 beigelegt (Anlage 3).

**GNS**

Gesellschaft für Nuklear-Service mbH

Anlage 1

23.11.1989

Verteiler: Technische NotizBetr.: Bildung von Aminen aus Anionenaustauscherharzen

Die Ionenaustauscherharze (Kugel- und Pulverharze) werden mit Vakuumunterstützung entwässert. Die Grundsubstanz ist ein Harz, oft ein Polystyrolgerüst, an das funktionelle Gruppen angebunden sind.

Typische Anionenaustauscher sind:

$R-N(CH_3)_3OH$  (quartäre Amine - stark basisch) Quartärer Ammoniumtyp

$R-N(CH_3)_2$  (tertiäre Amine - schwach basisch)

Nach der Entwässerung ist noch ein Restwassergehalt von ca. 30 % in den Ionenaustauscherharzen enthalten. Das Schüttgewicht der Harze liegt zwischen  $0,7 \text{ g/cm}^3$  und  $0,9 \text{ g/cm}^3$ . Das chemische Verhalten wird durch die Hauptbestandteile (Polystyrolharze und Wasser) bestimmt. Der Schmelzpunkt des Basismaterials (Polystyrol) liegt höher als  $200^\circ\text{C}$ .

Amine werden als primär, sekundär oder tertiär bezeichnet, je nach der Anzahl von Alkylgruppen an den Stickstoffmolekülen. Verbindungen mit vier Alkylgruppen analog zu den vier Wasserstoffmolekülen bei dem Ammoniumion werden als quartäre Ammoniumverbindungen bezeichnet.

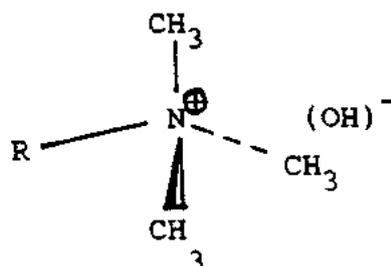


Abb. 1 Beispiel eines quartären Amins (Grundgerüst Polystyrol, Lewatit M 500)



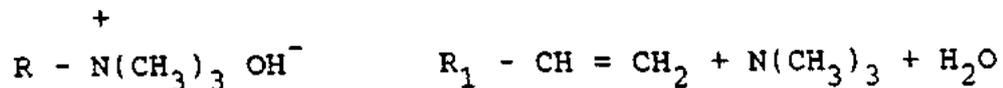


Die möglichen Bildungsprozesse zur Gasbildung können unterteilt werden in

- "normale" chemische Reaktionen
- thermische Zersetzungsprozesse
- radiolytische Zersetzung
- bakterielle Prozesse

#### Bildung von freien Aminen durch thermische Zersetzung

Quartäre Amine sind beständig bis 100°C, danach findet eine B-Elimination statt.



Diese thermische Zersetzung wird vermieden wenn die Temperatur unterhalb 100°C liegt.

#### Bildung von freien Aminen durch chemische Reaktionen, z.B. Hydrolyse

Einfache Alkylammoniumionen haben alle ein  $\text{pK}_a$  zwischen 10 und 11. Sie sind deshalb nur geringfügig saurer als  $\text{NH}_4^+$ . In anderen Worten, einfache Amine sind nur etwas basischer als Ammoniak.

<u>Amine</u>	<u>konjugierende Säure</u>	<u><math>\text{pK}_a</math></u>
$\text{NH}_3$	$\text{NH}_4^+$	9.24
$\text{CH}_3\text{NH}_2$	$\text{CH}_3\text{NH}_3^+$	10.62
$(\text{CH}_3)_3\text{N}$	$(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+$	9.79

Tab. 1

Dies bedeutet, daß für die Hydrolyse eine stark basische Umgebung in der Größenordnung pH 12 bis 13 nötig ist. Für die Freisetzung von Aminen ist ein pH-Bereich über pH 10 erforderlich. Dies wird durch Einhalten eines pH-Wertes unter pH 10 vermieden.

### Bakterielle Prozesse

Bei mikrobiologischer Zersetzung von organischem Material entsteht unter aeroben als auch unter anaeroben Bedingungen überwiegend  $\text{CO}_2$  und  $\text{CH}_4$ , und je nach Zusammensetzung des Ausgangsmaterials kann auch  $\text{H}_2\text{S}$  und  $\text{NH}_3$  entstehen. Keinesfalls entstehen Amine.

### Freisetzung von Radiolysegasen

Radiolysegase sind Produkte aus Sekundärreaktionen radiolytisch induzierter Radikale. Die Natur der Radikale und ihre Bildungsrate sind eng verbunden mit der chemischen Struktur und der Bindungsstärke der Ausgangsmaterialien. Im allgemeinen tendieren Polymere mit zwei Seitengruppen an vierfach substituierten Kohlenstoffatomen bei der Bestrahlung zum Bindungsbruch.

Schorr et al. haben Proben einer Mischung aus Ebano 15 (destilliertes Bitumen) und Lewatit S-100 und Lewatit M-500 untersucht.

Ebano 15	50,0 %
Lewatit S-100	25,0 %
Lewatit M-500	25,0 %

Tab. 2 Zusammensetzung der untersuchten Proben (Gew.-%)

Die Bildung der Radiolysegase ist der angewandten Dosis im Bereich von 10 bis 100 Mrad direkt proportional.

Bei externer Bestrahlung mit Gamma-Quanten wird nicht nur Wasserstoff und Kohlenwasserstoff gebildet, sondern zusätzlich auch Stickstoffoxid, Monomethyl- und Trimethylamin.

Die Bildungsraten dieser letztgenannten Gase sind jedoch sehr niedrig.

Gase	Bildungsraten $\text{cm}^3 \text{g}^{-1} \text{Mrd}^{-1}$
Wasserstoff	$1,0 \times 10^{-2}$
Kohlenwasserstoff ( $\text{C}_1 - \text{C}_4$ )	$4,4 \times 10^{-4}$
Kohlenmonoxid	$9,8 \times 10^{-4}$
Stickstoffmonoxid	$3,2 \times 10^{-5}$
Stickstoffdioxid	$2,6 \times 10^{-5}$
Methylamin	$1,8 \times 10^{-5}$
Trimethylamin	$3,8 \times 10^{-6}$

Tab. 3 Spezifische Gasbildungsraten

Nach Angaben von Kühne und Martinola muß die notwendige Strahlendosis sehr hoch sein, um Zersetzungsprodukte festzustellen, da im Bereich bis zu  $10^6$  rad kein Abbau bemerkbar war.

Wenn man auch berücksichtigt, daß die Untersuchungen über die Strahlenbeständigkeit an Harzen in H- und OH-Form gemacht wurden, zeigt die Betriebserfahrung, daß beladene Mischbettfilter ohne nennenswerte Einwirkungen über mehrere Jahre betrieben werden können. Das bedeutet keinen oder einen niedrigen Abbau der funktionellen Gruppe.

Literaturverzeichnis

- /1/ Untersuchung möglicher chemischer Reaktionen in Abfallgebinden aus Kernkraftwerken  
GNS B 123/88
- /2/ Streitweiser A., Heathcock C.H.  
Introduction to Organic Chemistry  
MacMillan Publishing Co., New York, 1976
- /3/ Schorr W., Duschner H., Starke K.  
Die Bildung radiolytisch induzierter Gase aus Verfestigungsprodukten schwach- und mittelradioaktiver Abfälle  
Nukleare Entsorgung, Bd. 1, Verlag Chemie, Weinheim, 1981
- /4/ Chapiro A.  
Radiation Chemistry of Polymeric Systems  
Interscience Publishers, New York, 1962
- /5/ Kühne G., Martinola F.  
Ionenaustauscher und ihre Beständigkeit gegen chemische und physikalische Einwirkungen  
VGB Kraftwerkstechnik Nr. 3, 1977  
Verlag VGB-Dampftechnik GmbH, Essen
- /6/ Sax N.  
Dangerous Properties of Industrial Materials  
5th ed., van Nostrand/Reinhold, Amsterdam

Anlage 1

Trimethylamin /6/

Farblose Gase  $(\text{CH}_3)_3\text{N}$

Molekulargewicht:	59.11 g/mol
Explosionsgrenze:	2 - 11.6 %
Densität:	0,662 kg/m <sup>3</sup>
Rel. Gasdichte (Luft = 1):	2.0
Akute Giftigkeit:	ip LD <sub>LO</sub> (maus) = 75 mg/kg iv LD <sub>50</sub> (maus) = 90 mg/kg sc LD <sub>LO</sub> (maus) = 1000 mg/kg
THR (Summe Giftigkeit):	ip und iv hoch; sc moderat

**Salinen Salz**

Altländer Salinensalz ist stets streufähig und daher besonders für den Salzstreuer geeignet.

**Zutaten:**  
 Salinensalz, Trennmittel, Kaliumhexacyanoferrat (II) - Mittel zur Erhaltung der Rieselfähigkeit max. 0,002 %

**Altländer**



**Salinen Salz**

feinkörnig · trocken · haltbar

**Salinen Salz**

Altländer Salinensalz wird aus reiner Sole hergestellt. Es steht unter ständiger Kontrolle eines vereidigten Lebensmittelchemikers.

NORRDEUTSCHE

**Altländer**



**Salinen Salz**

feinkörnig · trocken · haltbar

trachteten organischen Verbindungen und die typischen Klassenvertreter wiedergegeben, nach denen im Rahmen der o. a. Erfassung gefragt wurde. Die typischen Klassenvertreter wurden bei der Beurteilung von Reaktionen der organischen chemotoxischen Stoffe zugrunde gelegt.

Der Anteil organischer Materialien an der Gesamtmasse der endzulagernden Abfallgebinde am Ende der Betriebsphase beträgt etwa  $2,3 \cdot 10^4$  Mg (ca. 2 %). Darin sind auch die in Tab. 8 aufgeführten organisch chemotoxischen Stoffe enthalten (etwa  $6,8 \cdot 10^2$  Mg).

Unter Berücksichtigung der modellmäßig unterstellten Annahme (Lösung des Schadstoffinventars der Abfallgebinde in einer wässrigen Lösung mit einem Volumen von  $10^6$  m<sup>3</sup>), der Löslichkeit der Verbindungen sowie von chemischen und strahlenchemischen Reaktionen (Abbau durch Hydrolyse und/oder Radio-lyse) ist das chemische Verhalten der in Tab. 8 aufgeführten organischen chemotoxischen Stoffe analysiert worden. Als Ergebnis bleibt festzuhalten, daß diese Verbindungen in sehr viel kürzerer Zeit abgebaut werden als ein Transport von Endlager bis zur Biosphäre benötigen würde. Damit sind nach vorliegendem Kenntnisstand keine Limitierungen der Anteile organischer chemotoxischer Stoffe in radioaktiven Abfällen erkennbar, die in das Endlager Konrad verbracht werden sollen. Aus diesem Grund konzentriert sich die weitere Beurteilung auf die anorganischen chemotoxischen Stoffe.

### 3.3 Anorganische Stoffe

Die möglicherweise in den endzulagernden Abfallgebinden enthaltenen anorganischen chemotoxischen Stoffe wurden identifiziert (Tab. 9) und bei den Ablieferungspflichtigen im Rahmen einer Bestandsaufnahme zur Erfassung chemotoxischer Stoffe abgefragt.

Der Anteil anorganischer Materialien an der Gesamtmasse der endzulagernden Abfallgebinde am Ende der Betriebsphase beträgt danach etwa  $1,3 \cdot 10^6$  Mg (ca. 98 %). In Tab. 10 sind die im Rahmen der o. a. Bestandsaufnahme identifizierten wichtigsten Elemente zusammengefaßt; ihre Massen sind unter Bezug auf das betrachtete Abfallgebindevolumen von etwa 500 000 m<sup>3</sup> jeweils kumuliert wiedergegeben. Hierin sind auch die Massen inaktiver, stabiler Zerfallsprodukte wie Blei oder Wismut enthalten. Die in Tab. 10 genannten Elemente werden in den nachfolgenden Plausibilitätsbetrachtungen zur Chemo-

toxizität radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Abschnitte 4.3 bis 4.5) berücksichtigt.

Hinsichtlich der Herkunft der anorganischen chemotoxischen Stoffe sei angemerkt, daß z.B. Blei überwiegend aus Innenauskleidungen von Abfallbehältern stammt. Cadmium liegt entweder als Metall oder als Legierungselement z.B. in Steuerstäben aus Druckwasserreaktoren, in Absorberblechen bzw. -folien, in Schrauben oder in Akkumulatoren vor. Silber wird wie Cadmium als Legierungselement in Steuerstäben aus Druckwasserreaktoren verwendet oder als Versilberung von Kabeln. Chrom liegt beispielsweise als Legierungselement in Edelstählen oder als Chromat im Zementstein vor. Schließlich finden sich Nickel, Beryllium, Kobalt oder Antimon als Legierungsbestandteile oder als Spurenverunreinigungen in metallischen Werkstoffen im radioaktiven Abfall wieder.

Quecksilber und Quecksilberverbindungen  
Cadmium und Cadmiumverbindungen  
Blei und Bleiverbindungen  
Chrom und Chromverbindungen  
Nickel und Nickelverbindungen  
Beryllium und Berylliumverbindungen  
Thallium und Thalliumverbindungen  
Silber und Silberverbindungen  
Kupfer und Kupferverbindungen  
Molybdän und Molybdänverbindungen  
Kobalt und Kobaltverbindungen  
Asbest  
Selen und Selenverbindungen  
Uran und Uranverbindungen  
Plutonium und Plutoniumverbindungen  
Wismut und Wismutverbindungen  
Antimon und Antimonverbindungen  
Vanadium und Vanadiumverbindungen  
Tellur und Tellurverbindungen  
Zink und Zinkverbindungen

**Tab. 9:** Identifizierte, möglicherweise in endzulagernden Abfallgebinden enthaltene anorganische chemotoxische Stoffe