

Deckblatt



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Blatt: 1
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000				MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Titel der Unterlage:
ISTSTANDSANALYSE ZUR KENNTNIS DES STOFFLICHEN INVENTARS IN DEN RADIOAKTIVEN
ABFÄLLEN DER SCHACHTANLAGE ASSE II

Ersteller/Unterschrift:
BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH

Prüfer/Unterschrift: *8.10.24*

Stempelfeld:

UVST:	bergrechtlich verantwortliche Person:	atomrechtlich verantwortliche Person:	Bereichsleitung:	Freigabe zur Anwendung:
<i>08.10.2024</i>	<i>16. OKT. 2024</i>	<i>16. OKT. 2024</i>	<i>16. OKT. 2024</i>	<i>16. OKT. 2024</i>
Datum und Unterschrift				

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

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 1 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II

Auftragnehmer

**Brenk Systemplanung GmbH (BS) mit Unterauftragnehmer
CDM Smith Consult GmbH (CDM)**

BS Projekt-Nr.: 1509-08/02

Aachen, 24.11.2017



 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 2 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Impressum:

Auftraggeber: Bundes-Gesellschaft für Endlagerung
 Willy-Brandt-Str. 5
 38226 Salzgitter
 Telefon: 030 18333-7000
 E-Mail: poststelle@bge.de
 Internet: www.bge.de

Ersteller:


 Brenk Systemplanung GmbH
 Heider-Hof-Weg 23
 52080 Aachen
 Telefon: +49 2405 4651 0
 E-Mail: mail@brenk.com

Der Bericht wurde im Auftrag der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) erstellt. Die BGE behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der BGE zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 3 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Revisionsblatt:

Rev.	Rev.-Stand (Datum)	revidierte 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				

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 4 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

KURZFASSUNG

Verfasser: Brenk Systemplanung GmbH

Titel: Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II

Stand: 24.11.2017

In Vorbereitung auf die vom Betreiber beabsichtigten Berechnungen der Auswirkungen auf die Schutzgüter Mensch und Umwelt im Falle eines teilweisen oder im ungünstigsten Fall sogar bei einem vollständigen Verbleib der Abfälle in der Schachanlage Asse II werden Iststandsanalysen durchgeführt.

In diesem Bericht werden die Ergebnisse der Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II präsentiert. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Berichte von Herzog & Schneider (2001) und Buchheim et al. (2004) hinsichtlich Nachvollziehbarkeit, Plausibilität, Konsistenz und Vollständigkeit der Angaben für eine durchzuführende Konsequenzenanalyse sowie für eine wasserrechtliche Bewertung geprüft und bewertet. Weiterhin wurde die in den genannten Berichten jeweils angewandte Methodik bezüglich des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik geprüft und bewertet.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 5 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG	4
INHALTSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	6
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
1 ZUSAMMENFASSUNG	8
2 AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	13
2.1. AUFGABENSTELLUNG	13
2.2. ZIELSTELLUNG DIESES BERICHTS	14
2.3. BEWERTUNGSMAßSTÄBE	14
3 ERGEBNISSE	16
3.1. PRÜFUNG DER NACHVOLLZIEHBARKEIT UND PLAUSIBILITÄT DER ANGABEN	16
3.1.1. Bericht von Herzog & Schneider (2001)	16
3.1.2. Bericht von Buchheim et al. (2004)	19
3.1.3. Bandbreite der eingelagerten Abfallmengen	19
3.2. PRÜFUNG AUF VOLLSTÄNDIGKEIT HINSICHTLICH EINER DURCHZUFÜHRENDEN KONSEQUENZENANALYSE	27
3.2.1. Bericht von Herzog & Schneider (2001)	27
3.2.2. Bericht von Buchheim et al. (2004)	30
3.3. PRÜFUNG AUF VOLLSTÄNDIGKEIT HINSICHTLICH EINER DURCHZUFÜHRENDEN WASSERRECHTLICHEN BEWERTUNG	32
3.4. PRÜFUNG DER KONSISTENZ DER ANGABEN IN DER ASSEKAT VERSION 8.0 (STAND 06/2016) MIT HERZOG & SCHNEIDER (2001)	33
3.4.1. Vergleich der angegebenen Massen	33
3.4.2. Prüfung des Übergangs der Angaben der Begleitscheine in die Unterlage Herzog & Schneider (2001)	35
4 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	36
4.1. HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUM INVENTAR	36
4.2. HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZU BANDBREITEN	38
4.3. EMPFOHLENE MAßNAHMEN ZUR WEITEREN VORGEHENSWEISE	38
4.3.1. Maßnahme 1	38
4.3.2. Maßnahme 2	40
LITERATURVERZEICHNIS	43
Gesamtseitenzahl:	45

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 6 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3-1: Berechnung des Inventars zementhaltiger Materialien und Vergleich der resultierenden Fehlerbandbreiten durch deterministische und statistische Fehlerfortpflanzung auf Basis der Angaben in Buchheim et al. (2004) zu den Mengen und Fehlerbandbreiten der zugehörigen Stoffuntergruppen.	22
Tabelle 3-2: Berechnung des Inventars eisenhaltiger Materialien und Vergleich der resultierenden Fehlerbandbreiten durch deterministische und statistische Fehlerfortpflanzung auf Basis der Angaben in Buchheim et al. (2004) zu den Mengen und Fehlerbandbreiten der zugehörigen Stoffuntergruppen.	23
Tabelle 3-3: Berechnung des Inventars zellulosehaltiger Materialien (Trockensubstanz) und Vergleich der resultierenden Fehlerbandbreiten durch deterministische und statistische Fehlerfortpflanzung auf Basis der Angaben in Buchheim et al. (2004) zu den Mengen und Fehlerbandbreiten der zugehörigen Stoffuntergruppen.	24
Tabelle 3-4: Vergleich der Gesamtmassen des eingelagerten Materials (Abfallstoffe) in den einzelnen Einlagerungskammern.	35
Tabelle 4-1: Übersicht über die empfohlenen Maßnahmen.	42

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 7 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
BS	Brenk Systemplanung GmbH
BZM	Betonzusatzmittel
DecaBDE	Decabromdiphenylether
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
ELK	Einlagerungskammer
HBCD	Hexabromcyclododecan
ISTA	Iststandsanalyse
NAPL	non-aqueous phase liquid
NTA	Nitritotriessigsäure
PBB	polybromierte Biphenyle
PBDE	polybromierte Diphenylether
PE	Polyethylen
PS	Polystyrol
PVC	Polyvinylchlorid
RN	Radionuklid(e)
SG	Stoffgruppen
SUG	Stoffuntergruppen
TBBPA	Tetrabispfenol A

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 8 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

1 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Bericht werden die Ergebnisse der Iststandsanalyse (ISTA) zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II präsentiert. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Berichte von Herzog & Schneider (2001) und Buchheim et al. (2004) hinsichtlich Nachvollziehbarkeit, Plausibilität, Konsistenz und Vollständigkeit der Angaben für eine durchzuführende Konsequenzenanalyse sowie für eine wasserrechtliche Bewertung geprüft und bewertet. Weiterhin wurde die in den genannten Berichten jeweils angewandte Methodik bezüglich des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik geprüft und bewertet.

Die wesentlichen Erkenntnisse der Prüfung sind folgende:

Thema: Nachvollziehbarkeit, Plausibilität und Konsistenz der Angaben

1. Die in Auftrag gegebene Bewertung der Nachvollziehbarkeit, Plausibilität, Konsistenz und Vollständigkeit der in den zu prüfenden Berichten enthaltenen Angaben, Annahmen, Daten, Berechnungen und Ergebnissen hat zu der Erkenntnis geführt, dass in Herzog & Schneider (2001) und Buchheim et al. (2004) in Bezug auf eine Vielzahl an getroffenen Aussagen die Nachvollziehbarkeit, Plausibilität und Vollständigkeit nicht bescheinigt werden kann.
2. Dies ist im Wesentlichen darin begründet, dass zu beiden Berichten die von den Autoren verwendeten Primärquellen weder vorliegen noch bekannt sind. Unter Primärquellen werden in diesem Zusammenhang alle Angaben, Annahmen, Informationen und Daten verstanden, die die Autoren im Zusammenhang mit der Erstellung ihrer Berichte erhoben haben. Im Unterschied hierzu werden unter dem Begriff der Rohdaten die Abfallbegleitscheine verstanden, wie sie bspw. in der Datenbank Assekat Version 8.0 (Stand 06/2016, Hoff et al. 2000) erfasst worden sind.
3. Zudem sind durchgeführte Berechnungen meistens nicht dokumentiert und somit nicht nachvollziehbar, wenngleich stellenweise zumindest grundsätzlich plausibel. Die Plausibilität der hiervon betroffenen konkreten Berechnungsergebnisse ist jedoch auch oftmals nicht gegeben (bspw. Bandbreiten, Überführung von Stoffgruppen (SG) zu Stoffuntergruppen (SUG), Komponenten, Elementen).
4. Da Buchheim et al. (2004) eine Aufgliederung der Abfälle bis in die Elementebene enthält, wirkt sich die mangelhafte Primärquellenlage und die fehlende Darstellung der getroffenen Annahmen und der durchgeführten Berechnungen massiver auf die Belastbarkeit der Ergebnisse aus als in Herzog & Schneider (2001).
5. Die Quantifizierung bestehender Ungewissheiten bzgl. des massenbezogenen Inventars einzelner SG/SUG bzw. der darin enthaltenen Materialkomponenten erfolgte in Herzog & Schneider (2001) entsprechend der verwendeten Klassifizierung mit Hilfe der Fehlerbandbreiten von 10 %, 30 % und 50 %. Die Wahl dieser Fehlerbandbreiten erfolgt nach unserer Einschätzung auf Basis der dazu in Herzog & Schneider (2001) enthaltenen Informationen nicht im Detail nachvollziehbar.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 9 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

6. Ausgehend von den jeweils angenommenen Ungewissheiten wurde in Herzog & Schneider (2001) den einzelnen SG/SUG bzw. den darin enthaltenen Materialkomponenten eine der zuvor genannten Fehlerbandbreiten zugeordnet. Die konkrete Zuweisung einer Fehlerbandbreite ist anhand der dazu in Herzog & Schneider (2001) enthaltenen Erläuterungen nicht im Detail nachvollziehbar.
7. Die Fehlerbandbreiten von SG/SUG, die sich aus mehreren Materialien zusammensetzen, wurden in Herzog & Schneider (2001) auf Basis der Fehlerbandbreiten der konstituierenden SG/SUG bzw. Materialkomponenten abgeschätzt. Nach unserer Einschätzung erfolgte die Abschätzung zugehöriger Fehlerbandbreiten auf Grundlage der deterministischen Fehlerfortpflanzung. Die Anwendung dieser Methode zu diesem Zweck wird von uns als grundsätzlich geeignet erachtet. Allerdings können die für zusammengesetzte SG/SUG konkret angegebenen Fehlerbandbreiten anhand der in Herzog & Schneider (2001) enthaltenen Informationen nicht im Detail nachvollzogen werden.
8. In Buchheim et al. (2004) werden ebenfalls die in Herzog & Schneider (2001) verwendete Klassifizierung von Ungewissheiten hinsichtlich des massenbezogenen Inventars einzelner SG/SUG bzw. der darin enthaltenen Materialkomponenten in analoger Weise angewendet. Nach unserer Einschätzung ist die konkrete Zuordnung einer Fehlerbandbreite auf Basis der in Buchheim et al. (2004) hierzu enthaltenen Informationen nicht im Detail nachvollziehbar. Die obigen Bewertungen 8. und 9. bzgl. Herzog & Schneider (2001) gelten hier für Buchheim et al. (2004) in analoger Weise.
9. In Buchheim et al. (2004) werden die den verschiedenen SG/SUG bzw. den darin enthaltenen Materialkomponenten zugeordneten Fehlerbandbreiten statistisch als Standardabweichungen zugehöriger Normalverteilungen interpretiert. Ausgehend von dieser Annahme erfolgte für das eingelagerte Inventar der drei Materialgruppen zementhaltige Materialien, eisenhaltige Metalle und zellulosehaltige Materialien eine Abschätzung der jeweiligen Fehlerbandbreite auf Grundlage der statistischen Fehlerfortpflanzung. Nach unserer Einschätzung ist eine statistische Interpretation der den verschiedenen SG/SUG bzw. den darin enthaltenen Materialkomponenten zugeordneten Fehlerbandbreiten als Standardabweichungen zugehöriger Normalverteilungen auf Basis der uns derzeit vorliegenden Informationen nicht plausibel. Entsprechendes gilt somit ebenfalls für die Anwendung statistischer Methoden zur Fehlerfortpflanzung.
10. Bei Gültigkeit der in Buchheim et al. (2004) unterstellten Annahme, dass die den verschiedenen SG/SUG bzw. den darin enthaltenen Materialkomponenten zugeordneten Fehlerbandbreiten als Standardabweichungen zugehöriger Normalverteilungen interpretiert werden können (vgl. Bewertung 11), sind die in Buchheim et al. (2004) angegebenen Fehlerbandbreiten für die drei genannten Materialgruppen nachvollziehbar.
11. Hinsichtlich der stichprobenartigen Konsistenzprüfung der Angaben in der Assekat (Version 8.0, Stand 06/2016) und jenen in Herzog & Schneider (2001) ist festzustellen,

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 10 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

dass die Gesamtmassen der verschiedenen in der Konsistenzprüfung berücksichtigten Materialien in der Datenbank mit jenen in Herzog & Schneider (2001) gut übereinstimmen. Es sei allerdings angemerkt, dass aufgrund der großen Masse an Daten insgesamt nur ein kleiner Teil der Angaben geprüft werden konnte (insbesondere was die einzelnen Abfälle in den jeweiligen Einlagerungskammern angeht). Im Ergebnis der Prüfung ist also festzustellen, dass starke Indizien für die Konsistenz zwischen den Daten in der Assekat Version 8.0 (Stand 06/2016) mit jenen in Herzog & Schneider (2001) vorliegen. Allerdings ist zu empfehlen, weiteren Aufwand in diese Konsistenzprüfung zu investieren, um sicherzustellen, dass alle für die Konsequenzenanalyse relevanten Abfälle berücksichtigt sind. Dort wo Abweichungen zwischen der Datenbank und Herzog & Schneider (2001) festgestellt werden, sollten die konservativeren Werte gewählt werden.

12. Die stichprobenartige Prüfung des Übergangs der Angaben der Begleitscheine (hinterlegt in der Assekat (Version 8.0, Stand 06/2016)) in die Unterlage Herzog & Schneider (2001) hat gezeigt, dass die angegebenen Massen in der Unterlage exakt nachvollzogen werden konnten. Aufgrund der großen Datenmenge bzw. der stichprobenartigen Natur der Prüfung kann dieses Ergebnis jedoch nur als Indiz für die Nachvollziehbarkeit des Übergangs der Angaben der Abfallbegleitscheine in die genannte Unterlage dienen.

Thema: Prüfung auf Vollständigkeit hinsichtlich einer durchzuführenden Konsequenzenanalyse

Beispielhaft seien folgende Punkte aufgeführt:

- **Fe-Metalle:** Fe-Metalle machen in allen ELK einen relativ großen Teil der Gesamtabfallmenge aus (Herzog & Schneider, 2001). Allerdings ist ein Großteil dieser Metalle in Herzog & Schneider (2001) nicht weiter differenziert. Je nach Stahlart (Baustahl, Edelstahl etc.) sind sehr unterschiedliche Korrosionsraten (und damit Gasbildungsraten) zu erwarten. Die in Buchheim et al. (2004) hierauf aufsetzend durchgeführte weitere Aufgliederung in Komponenten und Elemente ist nicht nachvollziehbar.
- **Kunststoffe:** Kunststoffe spielen hinsichtlich ihrer Masse im Abfall eine signifikante Rolle. Allerdings wird ein Großteil der Kunststoffe in Herzog & Schneider (2001) nicht näher spezifiziert. Das Degradationsverhalten von Kunststoffen ist von der Zusammensetzung des jeweiligen Polymers abhängig und je nach Polymer (PE, PVC, PS usw.) ergeben sich verschiedene Zersetzungsprodukte. Die in Buchheim et al. (2004) hierauf aufsetzend durchgeführte weitere Aufgliederung in Komponenten und Elemente ist nicht nachvollziehbar.

Weiterhin ist nicht nachvollziehbar, ob Buchheim et al. (2004) Additive für die Kunststoffe annehmen, da keinerlei Angaben zu diesen Stoffen gemacht werden.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 11 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Buchheim et al. (2004) nehmen an, dass organische Bromverbindungen (wie beispielsweise bromierte Flammschutzmittel) nicht im Abfallinventar enthalten sind. Bromierte Flammschutzmittel sind jedoch seit den 1960er Jahren kommerziell erhältlich (Janssen, 2005). Daher sollte ihre Anwesenheit im Abfallinventar der Schachanlage Asse II konservativerweise angenommen werden.

Buchheim et al. (2004) geben an, dass organische Zinnverbindungen nicht im Abfallinventar enthalten sind. Mono- und Diorganozinnverbindungen sind allerdings als hochwirksame Stabilisatoren in der PVC-verarbeitenden Industrie seit vielen Jahrzehnten fest etabliert und unentbehrlich für die Herstellung von vielen PVC-Produkten (Klingmüller & Watermann 2000). Daher sollte konservativerweise angenommen werden, dass diese Substanzen im Abfallinventar der Schachanlage Asse II vorkommen.

- **Betonzusatzmittel (BZM):** In Herzog & Schneider (2001) werden BZM nicht berücksichtigt. Diese Additive sollten konservativerweise als Bestandteile der Zemente angenommen werden.
- **Komplexbildner:** Es werden von Buchheim et al. (2004) und Herzog & Schneider (2001) keine Annahmen hinsichtlich des Vorhandenseins von Komplexbildnern wie NTA, Picolinsäure im Abfallinventar getroffen, obwohl diese Substanzen üblicherweise in der Nuklearindustrie genutzt wurden bzw. werden. Sollten zukünftige Untersuchungen zeigen, dass die verschiedenen Komplexbildner unterschiedliche Einflüsse auf die RN-Mobilisierung haben (z. B. in Abhängigkeit des pH oder in unterschiedlichen Kombinationen miteinander) und EDTA als starker Ligand nicht „abdeckend“ für das Verhalten schwächer komplexierender organischer Moleküle angesehen werden kann, sollten die Komplexbildner entsprechend differenziert werden.
- **Sonstiges:** Teilweise sind in Buchheim et al. (2004) die für bestimmte Substanzen gewählten Begriffe/Kurzformen/Abkürzungen unklar und es gibt keine entsprechende Definition (bspw. „Korrosionsprodukte“).

Handlungsempfehlungen

Aus diesen beispielhaft aufgeführten Erkenntnissen ergeben sich im Wesentlichen zwei mögliche Maßnahmen, die eine belastbare Aussage zum stofflichen Inventar der Schachanlage Asse II ermöglichen könnten.

Eine Maßnahme umfasst die Beschaffung der Unterlagen bei den damaligen Autoren der Berichte, in denen die verwendeten Primärquellen aus den von diesen durchgeführten Recherchen sowie Auswertungen und Berechnungen enthalten sein sollten. Sollten diese Unterlagen (noch) verfügbar sein, ist zu erwarten, dass die Nachvollziehbarkeit, Plausibilität, Konsistenz und Vollständigkeit der Ergebnisse mit vertretbarem Aufwand überprüft werden kann. In Abhängigkeit von Dokumentation, Qualität und Vollständigkeit der (noch) verfügbaren Unterlagen der Autoren, kann der „Mehrwert“ der Prüfung dieser Unterlagen unterschiedlich groß sein. Da die Qualität und

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 12 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Art der Unterlagen uns jedoch nicht bekannt sind, kann nicht ausgeschlossen werden, dass trotz Beschaffung der Primärquellen kein „sichtbarer“ Mehrwert entsteht. Daher sollte vor Beschaffung der Unterlagen deren Vollständigkeit, Nachvollziehbarkeit, Inhalt und Qualität geprüft werden.

Eine Alternative hierzu – sowohl grundsätzlich wie auch im Fall das die erstgenannte Maßnahme nicht den gewünschten Erfolg bringt – besteht in der, unserer Einschätzung nach ungleich aufwändigeren, erneuten Erarbeitung des stofflichen Inventars der Schachanlage Asse II ausgehend von den Rohdaten (Abfallbegleitscheinen). Hier besteht das Risiko, dass die Verfügbarkeit der Daten nach fast vier Jahrzehnten bei Abfallproduzenten und –anlieferern sowie Gebindeherstellern und sonstigen Quellen nur gering ist. In Abhängigkeit der verfügbaren Daten liegt der Mehrwert dieser Maßnahme jedoch mindestens in der Schaffung einer belastbaren – d. h. dokumentierten und nachvollziehbaren – Aussage zum stofflichen Inventar der Schachanlage Asse II (s. Kapitel 4.3)

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 13 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

2 AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

2.1. AUFGABENSTELLUNG

Aufgabe von BS war es, eine Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II durchzuführen. Folgende Arbeiten waren in diesem Zusammenhang zu verrichten:

Prüfung und Bewertung der Berichte

- Herzog, Schneider: „Bestimmung der stofflichen Hauptbestandteile der in das Salzbergwerk Asse eingelagerten Abfälle“ (Herzog & Schneider, 2001) und
- Buchheim, Meyer, Tholen: „Bestimmung des Inventars an chemischen und chemotoxischen Stoffen in den eingelagerten Abfällen“ (Buchheim et al., 2004)

hinsichtlich Nachvollziehbarkeit, Plausibilität, Konsistenz und Vollständigkeit der Angaben

- für eine durchzuführende Konsequenzenanalyse sowie
- für eine wasserrechtliche Bewertung.

Eine weitere Aufgabe umfasste die Prüfung und Bewertung der in den beiden oben genannten Berichten jeweils angewandten Methodik bezüglich des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik.

Die während der Prüfung der Berichte von BGE zur Verfügung gestellte Datenbank Assekat (Version 8.0, Stand 06/2016), im folgenden Text auch „Datenbank“ genannt) enthält Angaben bspw. aus den Begleitlisten, die laut Aufgabenstellung bislang nicht auf Vollständigkeit in den jeweiligen Berichten geprüft worden sind. Im Rahmen der vorliegenden Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Abfallinventars der Schachanlage Asse II wurde jedoch auch die Konsistenz der in Herzog & Schneider (2001) verwendeten Daten im Vergleich zu den Abfallbegleitscheinen in der Datenbank stichprobenartig (aufgrund der großen Masse der Daten und des zur Verfügung stehenden Aufwandes) geprüft. Die Erstellung dieser Datenbank begann 1999 durch das Institut für Strahlenschutz des Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit München (GSF). Es resultierte eine Version 6.0 der Datenbank, deren Inhalt die digitale Erfassung der Begleitdokumente umfasste. Das Institut für Strahlenschutz des GSF entwickelte die Datenbank zur Version 7.0 weiter. Die Datengrundlage der beiden Berichte Herzog & Schneider (2001) und (Buchheim et al., 2004) ist die Datenbank Version 7.0. Arbeiten hinsichtlich dem stofflichen Inventar durch GSF-Forschungsbergwerk Asse bzw. dessen Auftragnehmer Stoller Ingenieurtechnik GmbH und Buchheim Engineering führten zur Implementation von entsprechenden Daten in die Datenbank. Diese um die stofflichen Angaben erweiterte Datenbank ist als die Version 8.0 der Datenbank überliefert (BfS 2016).

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 14 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

2.2. ZIELSTELLUNG DIESES BERICHTS

Ziel dieser Unterlage ist die zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse im Rahmen der Bearbeitung der Aufgabenstellung.

Diese Unterlage dient im Wesentlichen dazu,

- zusammengefasst die offenen Fragen und Erkenntnisse im Rahmen der Prüfung der Berichte von Herzog & Schneider (2001) und Buchheim et al. (2004) darzustellen,
- Handlungsbedarf zu identifizieren und konkrete Maßnahmen bzw. mögliche Alternativen für die weitere Bearbeitung zu beschreiben sowie
- eine Einschätzung des Mehrwerts und der Risiken der vorgeschlagenen Maßnahmen in Bezug auf die Beantwortung der offenen Fragen zu liefern.

Die abschließend gelieferte Einschätzung des Mehrwerts bzw. der Risiken bei Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen in Bezug auf die Klärung offener Fragen bzw. in Bezug auf die Ermöglichung einer abschließenden Bewertung der Nachvollziehbarkeit und Plausibilität der Angaben in den zu prüfenden Berichten (Herzog & Schneider, 2001 und Buchheim et al., 2004) beruht ausschließlich auf den Fachkenntnissen und Erfahrungen der Autoren dieses Berichts.

2.3. BEWERTUNGSMABSTÄBE

Aufsetzend auf der in Abschnitt 2.1 beschriebenen Aufgabenstellung sind bei der Prüfung der Berichte Herzog & Schneider (2001) und Buchheim et al. (2004) folgende Maßstäbe von uns zugrunde gelegt worden:

1. Nachvollziehbarkeit: Die Nachvollziehbarkeit von Angaben, Daten und Folgerungen (im Folgenden kurz als „Angaben“ bezeichnet) ist dann gegeben, wenn diese evident und sicher sind. Bei Verwendung dieses Bewertungsmaßstabs ist zu berücksichtigen, dass in den zu prüfenden Berichten Angaben enthalten sind, die sich aus bekannten und verfügbaren Unterlagen wie der Rohdaten (Abfallbegleitscheine), Literatur- und Herstellerangaben (als Primärquellen, bspw. Fachzeitschriften, DIN-Vorschriften, Herstellerdokumente), eigenen Erhebungen und Abschätzungen der Autoren der zu prüfenden Berichte (als Primärquellen, bspw. Expertenmeinungen und Annahmen) bzw. allgemein anerkannten Rechenvorschriften (bspw. Fehlerabschätzung der Bandbreiten) herleiten. Für alle vorgenannten Arten von Angaben ist die Nachvollziehbarkeit dann gegeben, wenn die Angaben reproduzierbar sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Reproduzierbarkeit sowohl von den Ergebnissen ausgehend hin zu den Ausgangsdaten (Abfallbegleitscheine), wie auch von den Ausgangsdaten hin zu den Ergebnissen, gegeben sein muss. Eine wesentliche Voraussetzung für eine Reproduzierbarkeit der Angaben in den zu prüfenden Berichten ist daher das Vorliegen der verwendeten Informationsquellen, Vorschriften und Berechnungsgrundlagen bzw. Berechnungsverfahren.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 15 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Dieser Interpretation folgend wird bei der Bewertung der Nachvollziehbarkeit der Angaben folgende Frage zu beantworten sein: Sind die in den Berichten aufgeführten Angaben *belegt* und somit reproduzierbar?

2. Plausibilität: Die Plausibilität von Angaben ist dann gegeben, wenn diese einleuchtend, schlüssig und glaubhaft sind. Angaben, die das Kriterium der Nachvollziehbarkeit erfüllen, sind dieser Interpretation folgend immer auch plausibel, da sie sich auf belegbare und somit reproduzierbare Fakten gründen (bspw. Stoff(unter)gruppen-Angaben von nach DIN-Normen konstruierten Abfallgebinden). Die Plausibilitätsprüfung ist daher in solchen Fällen relevant, in denen keine Informationsquellen oder Berechnungsvorschriften belegt sind. Unbeschadet der fehlenden Belegbarkeit solcher Angaben kann die Plausibilität von Angaben durch Literaturrecherchen oder Expertenwissen des Gutachters belegt bzw. widerlegt werden.

Dieser Interpretation folgend wird bei der Bewertung der Plausibilität der Angaben folgende Frage zu beantworten sein: Sind die in den Berichten aufgeführten Angaben *glaubhaft und begründet* bzw. durch Literaturrecherchen oder Expertenwissen belegbar?

3. Konsistenz: Bei der Konsistenzprüfung ist zu untersuchen, ob die Angaben der Berichte widerspruchsfrei sind.
4. Vollständigkeit: Die Prüfung auf Vollständigkeit der Angaben kann abschließend nur erfolgen, wenn die Angaben nachvollziehbar oder plausibel sind. Hierbei ist für die Prüffähigkeit nach diesem Kriterium zu unterscheiden zwischen Angaben, die aus (Primär-) Quellen unverändert übernommen werden (bspw. Übernahme der Daten aus der Assekat Version 8.0 (Stand 06/2016) in die Berichte oder Übernahme der Daten aus Herzog & Schneider (2001) in Buchheim et al. (2004)) und Angaben und Daten, die aus vorhandenen Angaben und Daten abgeleitet werden (bspw. Unterteilung der SG in SUG, Komponenten und abschließend in Elemente). Die Prüfung auf Vollständigkeit der unverändert übernommenen Angaben und Daten setzt voraus, dass die Quellen bekannt sind um einen Abgleich durchzuführen. Die Prüfung auf Vollständigkeit von Angaben, die aus vorhandenen Angaben abgeleitet werden, setzt voraus, dass die Ableitungsvorgehensweise beschrieben ist und die dabei verwendeten Daten oder Annahmen erläutert werden.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 16 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00		Stand: 24.11.2017

3 ERGEBNISSE

In den nachfolgenden Abschnitten werden die wesentlichen Ergebnisse für eine Entscheidung bzgl. der weiteren Vorgehensweise bei der Bewertung des Abfallinventars der Schachtanlage Asse II erläutert.

Die folgenden Abschnitte folgen dabei inhaltlich den in Abschnitt 2.3 beschriebenen Bewertungsmaßstäben und listen zusammenfassend Fragen und Anmerkungen auf, die im Rahmen der Bewertung aus unserer Sicht klärungsbedürftig sind und die weitere Maßnahmen seitens der BGE notwendig erscheinen lassen.

3.1. PRÜFUNG DER NACHVOLLZIEHBARKEIT UND PLAUSIBILITÄT DER ANGABEN

In Kapitel 3.1.1 wird auf die Ergebnisse der Prüfung zu den Angaben in Herzog & Schneider (2001) stichpunktartig eingegangen. Einen Hauptteil des Kapitels bilden die Ergebnisse der Plausibilitätsprüfung da eine Nachvollziehbarkeit der Angaben in den meisten Fällen nicht gegeben war. Kapitel 3.1.2 behandelt die entsprechenden Prüfungsergebnisse der Unterlage Buchheim et al. (2004).

3.1.1. Bericht von Herzog & Schneider (2001)

- Die Prüfung der Plausibilität der Berechnungsgrundlagen für die Verpackungs- und Konditionierungsmaterialien hat ergeben, dass die Angaben plausibel bzw. korrekt sind.
- Hinsichtlich der eingelagerten Abfallmaterialien setzen Herzog & Schneider (2001) Volumen-Anteile der Abfälle in den Behältern und mittlere Dichten der jeweiligen Abfälle an. Weiterhin wird ein Luftanteil von 10 Vol-% angenommen, da eine 90 %-ige Behälterfüllung angenommen wird. Generell ist festzustellen, dass die angesetzten Volumenanteile und Dichten für die eingelagerten wasserhaltigen Abfälle und deren Konditionierung (S. 25, Tabelle 13) vollständig plausibel sind.
- Die von Herzog & Schneider (2001) angesetzten Werte der für eingelagerten Öle/Lösungsmittel und deren Konditionierung (S. 26, Tabelle 14) sind plausibel.
- Hinsichtlich der von Herzog & Schneider (2001) angesetzten Werte für die eingelagerten festen gemischten Abfälle (S. 27, Tabelle 15) und die eingelagerten festen sortierten Abfälle (S. 29, Tabelle 16) ist die Plausibilität der Angaben ebenfalls festzustellen.
- Auch die Angaben von Herzog & Schneider (2001) hinsichtlich der eingelagerten Verbrennungsrückstände (S. 31, Tabelle 17) sind plausibel.

Sämtliche in Herzog & Schneider (2001) zur Zusammensetzung der jeweiligen Abfallmaterialien angegebenen Informationen (siehe Anlage 1, Tabelle 2 in der genannten Literatur) sind nicht nachvollziehbar. Die Angaben können daher nur auf ihre Plausibilität geprüft werden. Im folgenden Text werden die Ergebnisse dieser Prüfung (d.h. der SUG-Zuordnung zu den SG) dargestellt.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 17 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Dabei werden die in Herzog & Schneider (2001) in Anlage 1, Tabelle 2 aufgelisteten Abfallbestandteile einzeln besprochen.

- **Bauschutt:** Die angesetzte Aufteilung in SUG in Herzog & Schneider (2001) ist nicht vollständig plausibel. In der Unterlage wird erläutert, dass der Bauschutt neben Betonkomponenten auch Isoliermaterial wie Glas- und Mineralwolle, Sand, Erde, Asphalt enthält (S. 27). Allerdings wird zumindest Asphalt nicht durch die gewählten SUG abgebildet. Ansonsten ist die von Herzog & Schneider (2001) angesetzte quantitative und qualitative Zusammensetzung plausibel.
- **Beton:** Die angesetzte qualitative und quantitative Betonzusammensetzung ist plausibel.
- **Erdreich:** Die angesetzte qualitative und quantitative Zusammensetzung ist plausibel und deckt sich mit Literaturangaben, z. B. jenen in Schachtschabel et al. (1998).
- **Fällschlamm:** Die angesetzte quantitative und qualitative Zusammensetzung des Fällschlammes ist unklar und es kann keine Aussage hinsichtlich der Plausibilität gemacht werden. Die Autoren setzen bspw. einen hohen Anteil von Zellulose an die vom Einsatz von Filterhilfsmitteln stammen soll (S. 24). Allerdings wird für die Zusammensetzung des Abfallbestandteils „Filterhilfsmittel“ keine Zellulose aufgelistet. Damit ist an dieser Stelle auch ein Mangel an Konsistenz festzustellen.
- **Filter/Filterelemente:** Die angenommenen Materialien und die jeweiligen abgeschätzten Anteile können als plausibel erachtet werden, bspw. für die Zusammensetzung eines Rollbandfilters. Allerdings ist unbekannt, welche Filtertypen angesetzt wurden. Als gängiger Filtertyp wären bspw. Aktivkohlefilter zu nennen die offensichtlich nicht berücksichtigt wurden. Möglicherweise wurde die Aktivkohle jedoch als „Zellulose“ deklariert.
- **Filterhilfsmittel:** Die in Herzog & Schneider (2001) gegebene Erläuterung erklärt nicht die von den genannten Autoren gestellte Annahme von Ölen und Salzen. Die Materialien Polystyrol und Kieselgur sind gängige Materialien für Filterhilfsmittel, allerdings kann keine Aussage hinsichtlich der Plausibilität hinsichtlich der angesetzten Quantität gegeben werden. Im Zusammenhang mit den Fällschlammern wird von den Autoren ausgesagt, dass sich Filterhilfsmittel aus Zellulose zusammensetzen. Allerdings wird dieses Material nicht bei den Filterhilfsmitteln angesetzt.
- **Filterrückstände:** Herzog & Schneider (2001) setzen für die Filterrückstände die gleiche Zusammensetzung an wie für die Filterhilfsmittel. Dies ist nicht plausibel bzw. konsistent, da es sich um unterschiedliche Materialien handelt.
- **Filterkerzen:** Die Angaben in Herzog & Schneider (2001) sind plausibel. Heute gängige Filterkerzen bestehen meist aus nur einem Material, also z. B. Keramik oder Zellulose oder lediglich Polypropylen (Fuhr, 2016).

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 18 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

- **Geräte:** Es gibt in Herzog & Schneider (2001) keinerlei Erläuterung zu diesem Abfallbestandteil (außer dass die Geräte zu Mischabfällen/Laborabfällen gezählt werden). Da nicht klar ist, um welche Geräte es sich handelt, kann die Plausibilität der Angaben nicht geprüft werden.
- **Harze:** die Aufteilung in SUG in Herzog & Schneider (2001) ist nicht vollständig plausibel. Im Text wird keine Erläuterung zu den angesetzten SUG gegeben. Grundsätzlich ist die Angabe korrekt, dass Polystyrol zu größeren Anteilen angesetzt werden sollte, allerdings ist unklar, woher der hohe Anteil an gebundenem Wasser, den Fe-Oxiden und EDTA herrührt.
- **Kabel:** Die angesetzte Zusammensetzung kann als plausibel bewertet werden und deckt sich mit Literaturangaben, z. B. jenen in DKI (2000).
- **Laborabfälle:** Die angesetzte quantitative und qualitative Zusammensetzung erscheint plausibel.
- **Luftfilter:** Die angesetzte Aufteilung erscheint plausibel. Wie bereits für den Abfallbestandteil „Filter/Filterelemente“ angemerkt, wären als gängiger Filtertyp bspw. Aktivkohlefilter zu nennen. Es ist unklar, wie die verschiedenen existierenden Luftfiltertypen (Faserfilter, Elektrofilter, usw.) von den Autoren berücksichtigt wurden.
- **Metall:** Herzog & Schneider (2001) gehen unabhängig von den Ablieferern von einem allgemeinen Verhältnis von 90 Vol-% Fe- und 10 Vol-% NE-Metallen aus. Ansonsten werden in Herzog & Schneider (2001) keine Erläuterungen zu Herleitung dieser Annahme gegeben.

Es kann daher keine Aussage hinsichtlich der Plausibilität dieser Annahme getroffen werden. Kugel (2000) unterteilt die Metalle in ähnlicher Weise (allerdings auch ohne die Annahmen näher zu erläutern).

- **Mischabfall:** Hinsichtlich der getroffenen Annahmen zur Zusammensetzung der Mischabfälle sind die Angaben in Herzog & Schneider (2001) ungenügend. Die Autoren setzen drei verschiedene Zusammensetzungen dieser Abfälle an, allerdings ist die Herleitung unklar. Hinsichtlich der qualitativen Zusammensetzung erscheinen die Angaben plausibel. Eine Aussage zur Plausibilität der quantitativen Angaben kann nicht getroffen werden.
- **Präparate:** Dieser Abfallbestandteil wird in Herzog & Schneider (2001) nicht weiter erläutert. Die Plausibilität der Angaben ist nicht prüfbar, da der Begriff nicht definiert bzw. erläutert wird.
- **Schlämme:** Dieser Abfallbestandteil wird in Herzog & Schneider (2001) mit einer mittleren Zusammensetzung berücksichtigt ohne Angaben über Literaturquellen oder Annahmen zu machen. Die Autoren fassen Schlämme unterschiedlicher Herkunft („Abwasserschlämme, Dekontaminationsschlämme u.a.“, S. 24) zusammen. Die von Herzog & Schneider (2001) angesetzte Aufteilung ist unklar.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 19 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

- **Strahlenquellen:** Die qualitative und quantitative Zusammensetzung ist plausibel und deckt sich mit Angaben in der Literatur (z. B. Berthold, 2004).
- **Tierkadaver:** Stoller & Herzog (2001) geben als SUG „Zellulose“ mit einem signifikanten Anteil an. Es wird in der Unterlage allerdings nicht erläutert, warum dieser pflanzliche Stoff angesetzt wird. Es ist zu vermuten, dass Zellulose als Substitut für die restlichen körperlichen Bestandteile (z. B. Fett) neben Collagen angesetzt wurde.
- **Verdampferkonzentrate (VDK 1, VDK 2, VDK 3, VDK4):** Plausibel sind die hohen Salz- bzw. Borsäuregehalte, nicht plausibel sind allerdings die Gehalte bzw. die Anwesenheit von Zellulose und Komplexbildnern.

Im Ergebnis der Plausibilitätsprüfung zur Zusammensetzung der Abfallmaterialien ist festzustellen, dass die quantitative bzw. qualitative Zusammensetzung einiger Materialien nicht plausibel, konsistent oder prüfbar ist. Hinsichtlich der Handlungsempfehlungen wird auf Kapitel 4 verwiesen.

3.1.2. Bericht von Buchheim et al. (2004)

In Buchheim et al. (2004) wird das Abfallinventar in Materialien, Komponenten und einzelne Elemente zerlegt. Im Ergebnis wurde eine Liste an Stoffen und Elementen hergeleitet und diese Stoffe und Elemente wurden quantifiziert. Hinsichtlich einer Prüfung der Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse müssen die Primärquellen des Berichts miteinbezogen werden. Allerdings liegen diese Primärquellen nicht vor und die von Buchheim et al. (2004) getroffenen Annahmen (z. B. Stoffvektoren) zur Herleitung der Ergebnisse sind nicht dokumentiert bzw. näher erläutert. Die Prüfung der Komponenten-Zuordnung zu den Materialien (auch Stoffuntergruppen (SUG) genannt) und darauf aufsetzend der Element-Zuordnung zu den Komponenten mit den in Buchheim et al. (2004) aufgeführten Ergebnissen sowie den verfügbaren Abfallbegleitscheinen (Assekat Version 8.0 (Stand 06/2016)) kann somit nicht auf Plausibilität bzw. Nachvollziehbarkeit durchgeführt werden.

Die in Buchheim et al. (2004) (und Herzog & Schneider (2001)) verwendeten Fehlerbandbreiten werden in Buchheim et al. (2004) mittels Fehlerfortpflanzungsrechnung bis in die Element-Ebene berechnet. Weitergehende Betrachtungen zum Thema Bandbreite des Abfallinventars werden gesondert in Kapitel 3.1.3 besprochen.

3.1.3. Bandbreite der eingelagerten Abfallmengen

3.1.3.1. Klassifizierung von Ungewissheiten mittels Fehlerbandbreiten

Aufgrund vorliegender Ungewissheiten wurden in Herzog & Schneider (2001) bei der Abschätzung des massenbezogenen Inventars der in der Asse eingelagerten Abfallmengen den verschiedenen Stoffgruppen und Stoffuntergruppen - unterteilt nach Abfallbehälter-, Konditionierungs- und Abfallmaterialien - bestimmte (prozentuale) Fehlerbandbreiten zugeordnet:

± 10 % bei genau festlegbaren Daten zu Stoffgruppen/-untergruppen und zu deren Zusammensetzung,

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 20 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

± 30 % bei relativ genauen Angaben zu Stoffgruppen/-untergruppen, aber nur pauschale Angaben zu deren Zusammensetzung,

± 50 % bei ungenauen Angaben zu Stoffgruppen/-untergruppen und zu deren Zusammensetzung.

Die Festlegung der Fehlerbandbreiten erfolgte in Herzog & Schneider (2001) abhängig von der Abfallart (Stoffgruppe), von vorhandenen Unterlagen zur Abfallzusammensetzung, von Angaben der Ablieferer auf den Einlagerungsdokumenten sowie auf der Grundlage von Recherchen und Befragungen. Für die Materialien der Abfallbehälter erfolgte die Zuordnung der Bandbreiten über die einzelnen Stoffuntergruppen, für die Konditionierungsmittel über die Stoffgruppen und für die Abfälle über die in den Stoffgruppen enthaltenen Materialien.

Beispiel: Wurde für eine Stoffgruppe/-untergruppe oder für ein darin enthaltenes Material mit einer prozentualen Fehlerbandbreite $\pm \alpha$ das Inventar ermittelt, dann weist die Inventarangabe X einen Fehler von $\Delta X = \alpha \cdot X / 100 \%$ auf und der tatsächliche Inventarwert kann im Bereich von $X - \Delta X$ bis $X + \Delta X$ liegen.

Ausgehend von diesen Fehlerbandbreiten wurden in Buchheim et al. (2004) mittels Fehlerfortpflanzungsrechnung die Fehlerbandbreiten für das Inventar der folgenden Materialgruppen berechnet:

- *Zementhaltige Materialien*, bestehend aus den entsprechenden Materialanteilen der Abfallbehälter, Konditionierungsmittel und Abfälle (Hämatitbeton, Normalbeton, Portlandzementmörtel, Portlandzementstein und Portlandzement-Ölschieferstein),
- *Eisenhaltige Metalle*, bestehend aus den eisenhaltigen Metallen der Abfallbehälter und Abfälle (Metallverpackungen, Armierungsstahl, Stahlabschirmungen etc.) sowie
- *Zellulosehaltige Materialien*, bestehend aus den Zelluloseanteilen der Abfälle (Zellulose, Papier, Holz, Baumwolle, Zellstoff und pflanzliche Abfälle).

3.1.3.2. Darstellung grundlegender Methoden zur Fehlerfortpflanzung

Das massenbezogene Inventar M der o. g. eingelagerten Materialgruppen setzt sich jeweils additiv aus den eingelagerten Massen M_i der einzelnen zugehörigen Stoffkomponenten i zusammen:

$$M = \sum_i M_i \quad (1)$$

Die zur Einschätzung des Gesamtfehlers ΔM der Größe M aufgrund der durch die Fehler ΔM_i gekennzeichneten Ungewissheiten der Eingangsgrößen M_i anzuwendenden Rechenvorschriften sind abhängig von der jeweiligen Bedeutung bzw. Interpretation der Fehler ΔM_i . Im Zusammenhang mit der hier betrachteten Inventarberechnung sind insbesondere zwei unterschiedliche Vorgehensweisen möglich, die nachfolgend dargestellt und angewendet werden:

1. **Deterministische Fehlerfortpflanzung:** Die Größen ΔM_i werden interpretiert als absolute Fehler bzw. Fehlergrenzen der Inventare M_i der verschiedenen Stoffkomponenten i der betrachteten Materialgruppe. Dann berechnet sich aufgrund des durch Gleichung (1)

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 21 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

dargestellten Zusammenhangs der absolute Gesamfehler bzw. die Gesamfehlergrenze ΔM des Gesamtinventars M der betrachteten Materialgruppe aus der Beziehung

$$\Delta M = \sum_i \Delta M_i \quad (2)$$

2. **Statistische Fehlerfortpflanzung:** Die eingelagerten Inventare der Materialkomponenten i der betrachteten Materialgruppe werden als unabhängige normalverteilte Zufallsvariablen interpretiert mit den Fehlern ΔM_i als Schätzung für die statistische Unsicherheiten (Standardabweichungen) und den Eingangsgrößen M_i als Schätzung für den Mittelwert. Dann ist aufgrund des durch Gleichung (1) dargestellten Zusammenhangs das Gesamtinventar der betrachteten Materialgruppe ebenfalls eine normalverteilte Zufallsvariable mit M als Schätzung für den Mittelwert. Als Maß für den resultierenden Gesamfehler ΔM dient die Schätzung ΔM^* für die statistische Unsicherheit (Standardabweichung) der summarischen Zufallsvariable gemäß der Beziehung

$$\Delta M^* = \sqrt{\sum_i (\Delta M_i)^2} \quad (3)$$

3.1.3.3. Vergleich grundlegender Methoden zur Fehlerfortpflanzung

Nachfolgend werden diese beiden Methoden jeweils separat für die drei o. g. Materialgruppen gegenübergestellt.

Tabelle 3-1 zeigt die Ergebnisse für zementhaltige Materialien. Entsprechend der in Buchheim et al. (2004) durchgeführten Fehlerrechnung werden folgende Annahmen zugrunde gelegt: Hämatit- und Normalbeton der Abfallbehälter sowie Portlandzementstein (Abfallbehälter, Fixierungsmittel) werden Bandbreiten von $\pm 10\%$ zugeordnet. Den übrigen zementhaltigen Materialien der Abfälle (Hämatit- und Normalbeton, Portlandzementstein) und der Fixierungsmittel (Portlandzementmörtel, Portlandzement-Ölschieferstein) werden hingegen Bandbreiten von $\pm 30\%$ zugewiesen.

Erwartungsgemäß ist die durch statistische Fehlerfortpflanzung berechnete Fehlerbandbreite des Inventars zementhaltiger Materialien von $\pm 6,47\%$ geringer als die durch deterministische Fehlerfortpflanzung ermittelte Fehlerbandbreite von $\pm 13,49\%$.

In Buchheim et al. (2004) wurde die statistische Fehlerfortpflanzung angewendet. Die dort ermittelte Fehlerbandbreite von 6% kann durch die hier durchgeführte Berechnung nachvollzogen werden.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 22 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Tabelle 3-1: Berechnung des Inventars zementhaltiger Materialien und Vergleich der resultierenden Fehlerbandbreiten durch deterministische und statistische Fehlerfortpflanzung auf Basis der Angaben in Buchheim et al. (2004) zu den Mengen und Fehlerbandbreiten der zugehörigen Stoffuntergruppen.

Material	Menge M [kg]	$\Delta M / M$	ΔM [kg]	$\Delta M^* / M$	ΔM^* [kg]
Zementhaltige Materialien - Abfall					
Hämatitbeton	15.336	30,00 %	4.601		
Normalbeton	2.065.112	30,00 %	619.534		
Portlandzementstein	2.217	30,00 %	665		
Summe	2.082.665	30,00 %	624.800	29,75%	619.551
Zementhaltige Materialien - Abfallbehälter					
Hämatitbeton	10.619.753	10,00 %	1.061.975		
Normalbeton	24.671.753	10,00 %	2.467.175		
Portlandzementstein	5.313.129	10,00 %	531.313		
Summe	40.604.634	10,00 %	4.060.463	6,74%	2.738.072
Zementhaltige Materialien - Konditionierungsmittel					
Portlandzementmörtel	7.766.821	30,00 %	2.330.046		
Portlandzementstein	6.749.845	10,00 %	674.984		
Portland-Ölschieferstein	146.412	30,00 %	43.924		
Summe	14.663.077	20,79 %	3.048.954	16,55 %	2.426.242
Zementhaltige Materialien - Gesamt					
Gesamt	57.350.377	13,49 %	7.734.217	6,47 %	3.710.462
Angaben in Buchheim et al. (2004)	57.350.000	-	-	6 %	-

In Tabelle 3-2 sind die Ergebnisse der durchgeführten Inventarberechnungen für eisenhaltige Materialien zusammengestellt. Entsprechend der in Buchheim et al. (2004) verwendeten Annahmen werden den Metallen der Abfallbehälter (Metallverpackungen, Armierungsstahl, Stahl-Abschirmungen) Fehlerbandbreiten von ± 10 % zugeordnet. Für die FE-Metalle der Abfälle werden Fehlerbandbreiten von ± 50 % unterstellt. Die angesetzten Fehlerbandbreiten für die Stahlanteile in den Abfällen betragen ± 30 %.

Auch in diesem Fall ist die durch statistische Fehlerfortpflanzung berechnete Fehlerbandbreite des Inventars eisenhaltiger Materialien von $\pm 32,66$ % erwartungsgemäß geringer als die durch deterministische Fehlerfortpflanzung ermittelte Fehlerbandbreite von $\pm 36,70$ %.

Die in Buchheim et al. (2004) durch statistische Fehlerfortpflanzung berechnete Fehlerbandbreite von 33 % kann durch die hier durchgeführte Berechnung nachvollzogen werden.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 23 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Tabelle 3-2: Berechnung des Inventars eisenhaltiger Materialien und Vergleich der resultierenden Fehlerbandbreiten durch deterministische und statistische Fehlerfortpflanzung auf Basis der Angaben in Buchheim et al. (2004) zu den Mengen und Fehlerbandbreiten der zugehörigen Stoffuntergruppen.

Material	Menge M [kg]	$\Delta M / M$	ΔM [kg]	$\Delta M^* / M$	ΔM^* [kg]
Eisenhaltige Materialien - Abfall					
FE-Metalle	12.476.477	50,00 %	6.238.238		
Stahl 2	474.701	30,00 %	142.410		
Stahl 1	110.916	30,00 %	33.275		
Stahl 1.4541	58.467	30,00 %	17.540		
VA-Stahl	2.639	30,00 %	792		
Stahl 1.4571	2.171	30,00 %	651		
Stahl ST 37	870	30,00 %	261		
Summe	13.126.240	49,01 %	6.433.167	47,54 %	6.239.977
Eisenhaltige Materialien - Abfallbehälter					
Stahl MRST37-2	5.416.060	10,00 %	541.606		
Amierungsstahl	594.600	10,00 %	59.460		
Stahl GGG40	41.723	10,00 %	4.172		
Summe	6.052.383	10,00 %	605.238	9,00 %	544.876
Eisenhaltige Materialien - Gesamt					
Gesamt	19.178.623	36,70 %	7.038.406	32,66 %	6.263.721
Angaben in Buchheim et al. (2004)	19.179.000	-	-	33 %	-

Die Ergebnisse der hier durchgeführten Inventarberechnungen für zellulosehaltige Materialien sind in Tabelle 3-3 angegeben. Entsprechend der in Buchheim et al. (2004) verwendeten Annahmen setzt sich die Materialengruppe der zellulosehaltigen Materialien aus Zellulose, Papier, Holz, Baumwolle, Zellstoff und pflanzliche Abfälle zusammen. Den einzelnen Komponenten werden Fehlerbandbreiten von ± 30 % zugewiesen.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 24 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Tabelle 3-3: Berechnung des Inventars zellulosehaltiger Materialien (Trockensubstanz) und Vergleich der resultierenden Fehlerbandbreiten durch deterministische und statistische Fehlerfortpflanzung auf Basis der Angaben in Buchheim et al. (2004) zu den Mengen und Fehlerbandbreiten der zugehörigen Stoffuntergruppen.

Material	Menge M [kg]	$\Delta M / M$	ΔM [kg]	$\Delta M^* / M$	ΔM^* [kg]
Zellulosehaltige Materialien (Trockensubstanz) - Abfall					
Zellulose TS ¹⁾	2.846.961	30,00 %	854.088		
Papier TS	852.390	30,00 %	255.717		
Baumwolle TS	449.336	30,00 %	134.801		
Holz TS	101.165	30,00 %	30.349		
Zellstoff TS	25.490	30,00 %	7.647		
Pflanzliche Abfälle TS	782	30,00 %	234		
Summe	4.276.123	30,00 %	1.282.837	21,10 %	902.224
Zellulosehaltige Materialien (Trockensubstanz) - Gesamt					
Gesamt	4.276.123	30,00 %	1.282.837	21,10 %	902.224
Angaben in Buchheim et al. (2004)	4.276.200	-	-	21 %	-

¹⁾ TS: Trockensubstanz

Die durch statistische Fehlerfortpflanzung berechnete Fehlerbandbreite des Inventars dieser Materialgruppe von $\pm 21,10\%$ ist wiederum geringer als die durch deterministische Fehlerfortpflanzung berechnete Fehlerbandbreite von $\pm 30,00\%$.

Die in Buchheim et al. (2004) durch statistische Fehlerfortpflanzung berechnete Fehlerbandbreite von 21 % kann durch die hier durchgeführte Berechnung nachvollzogen werden.

3.1.3.4. Bewertungen und Empfehlungen

Die hinsichtlich der Fehlerbandbreiten des massenbezogenen Inventars der in der Asse eingelagerten Abfallmengen stichprobenartige Analyse der Unterlagen Buchheim et al. (2004) und Herzog & Schneider (2001) führt im Ergebnis zu folgenden Bewertungen (B) und daraus abgeleiteten Empfehlungen (E). Die Empfehlungen sind in Abschnitt 4 nochmals zusammengefasst.

- Die Quantifizierung bestehender Ungewissheiten hinsichtlich des massenbezogenen Inventars einzelner Stoffgruppen/Stoffuntergruppen bzw. der darin enthaltenen Materialkomponenten erfolgte in Herzog & Schneider (2001) mit Hilfe der eingangs genannten Fehlerbandbreiten von 10 %, 30 % und 50 % entsprechend der verwendeten Klassifizierung (vgl. Abschnitt 3.1.3.1).

B1: Die Wahl dieser Fehlerbandbreiten erfolgt nach unserer Einschätzung auf Basis von Plausibilitätsüberlegungen und ist anhand der dazu in Herzog & Schneider (2001)

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 25 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

enthaltenen Informationen nicht im Detail nachvollziehbar. Beispielsweise ist derzeit nicht mit Sicherheit auszuschließen, dass insbesondere „bei ungenauen Angaben zu einzelnen Stoffgruppen/-untergruppen und zu deren Zusammensetzung“ auch deutlich größere Fehlerbandbreiten als 50 % vorliegen könnten.

E1: Es sollte abschließend im Detail geklärt werden, inwieweit die genannten Fehlerbandbreiten von 10 %, 30 % und 50 % für die Klassifizierung vorliegender Ungewissheiten zum Inventar gemäß Abschnitt 3.1.3.1 geeignet und somit für eine entsprechende Quantifizierung verwendbar sind.

- Ausgehend von den jeweils angenommenen Ungewissheiten wurde in Herzog & Schneider (2001) den einzelnen Stoffgruppen/Stoffuntergruppen bzw. den darin enthaltenen Materialkomponenten eine der genannten Fehlerbandbreiten zugeordnet (vgl. Abschnitt 3.1.3.1).

B2: Die Zuordnung einer Fehlerbandbreite erfolgte nach unserer Einschätzung nicht auf der Basis eines Ergebnisses einer statistischen Analyse der verschiedenen Abfallarten bzw. deren Zusammensetzung, sondern auf der Basis von Plausibilitätsüberlegungen. Die konkrete Zuweisung einer Fehlerbandbreite wird nur relativ pauschal beschrieben und ist anhand der dazu in Herzog & Schneider (2001) enthaltenen Erläuterungen nicht im Detail nachvollziehbar.

E2: Zumindest für einige nicht-triviale Beispiele sollte im Detail geklärt werden, wie die jeweiligen Fehlerbandbreiten konkret zugewiesen wurden.

- Die Fehlerbandbreiten von Stoffgruppen/-untergruppen, die sich aus mehreren Materialien zusammensetzen, wurden in Herzog & Schneider (2001) auf Basis der Fehlerbandbreiten der konstituierenden Stoffgruppen/-untergruppen bzw. Materialkomponenten abgeschätzt.

B3: Nach unserer Einschätzung erfolgte die Abschätzung der Fehlerbandbreiten von Stoffgruppen/-untergruppen, die sich aus mehreren Materialien zusammensetzen, auf Grundlage der deterministischen Fehlerfortpflanzung (vgl. Abschnitt 3.1.3.2). Die Anwendung dieser Methode zu diesem Zweck wird von uns als grundsätzlich geeignet erachtet. Allerdings können die für zusammengesetzte Stoffgruppen/-untergruppen konkret angegebenen Fehlerbandbreiten anhand der in Herzog & Schneider (2001) enthaltenen Informationen nicht im Detail nachvollzogen werden.

- In Buchheim et al. (2004) werden ebenfalls die in Herzog & Schneider (2001) verwendete und eingangs dargestellte Klassifizierung von Ungewissheiten (vgl. Abschnitt 3.1.3.1) hinsichtlich des massenbezogenen Inventars einzelner Stoffgruppen/Stoffuntergruppen bzw. der darin enthaltenen Materialkomponenten in analoger Weise angewendet und die Herzog & Schneider (2001) bereits zugewiesenen Fehlerbandbreiten weitestgehend übernommen.

B4: Nach unserer Einschätzung ist die konkrete Zuordnung einer Fehlerbandbreite auf Basis der in Buchheim et al. (2004) hierzu enthaltenen Informationen nicht im Detail

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 26 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

nachvollziehbar. Die obigen Bewertungen B1 und B2 bezüglich Herzog & Schneider (2001) gelten hier für Buchheim et al. (2004) in analoger Weise.

E3: Die Empfehlung E2 hinsichtlich der Zuordnung einer Fehlerbandbreite gilt hier in analoger Weise.

- In Buchheim et al. (2004) werden die den verschiedenen Stoffgruppen/-untergruppen bzw. den darin enthaltenen Materialkomponenten zugeordneten Fehlerbandbreiten statistisch als Standardabweichungen zugehöriger Normalverteilungen interpretiert. Ausgehend von dieser Annahme erfolgt für das eingelagerte Inventar der drei eingangs genannten Materialgruppen *zementhaltige Materialien, eisenhaltige Metalle und zellulosehaltige Materialien* (vgl. Abschnitt 3.1.3.3) eine Abschätzung der jeweiligen Fehlerbandbreite auf Grundlage der statistischen Fehlerfortpflanzung (vgl. Abschnitt 3.1.3.2).

B5: Nach unserer Einschätzung ist eine statistische Interpretation der den verschiedenen Stoffgruppen/-untergruppen bzw. den darin enthaltenen Materialkomponenten zugeordneten Fehlerbandbreiten als Standardabweichungen zugehöriger Normalverteilungen auf Basis der uns derzeit vorliegenden Informationen nicht plausibel. Entsprechendes gilt somit ebenfalls für die Anwendung statistischer Methoden zur Fehlerfortpflanzung.

E4: Es sollte abschließend geklärt werden, inwieweit die jeweils zugewiesenen Fehlerbandbreiten tatsächlich statistisch als Standardabweichungen zugrunde liegender Verteilungen interpretiert werden können.

B6: Bei Gültigkeit der in Buchheim et al. (2004) unterstellten Annahme, dass die den verschiedenen Stoffgruppen/-untergruppen bzw. den darin enthaltenen Materialkomponenten zugeordneten Fehlerbandbreiten als Standardabweichungen zugehöriger Normalverteilungen interpretiert werden können, sind die in Buchheim et al. (2004) angegebenen Fehlerbandbreiten für die drei genannten Materialgruppen nachvollziehbar (vgl. Abschnitt 3.1.3.3).

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 27 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

3.2. PRÜFUNG AUF VOLLSTÄNDIGKEIT HINSICHTLICH EINER DURCHZUFÜHRENDEN KONSEQUENZENANALYSE

In den folgenden Abschnitten werden die Prüfergebnisse zur Vollständigkeit der Stoffe hinsichtlich der Prozesse Gasbildung, Komplexbildung/Sorption und Korrosion von Zementphasen dargelegt. Diese Prozesse sind für die Entwicklung des geochemischen Milieus und der Radionuklid-Mobilisierung und somit für durchzuführende Konsequenzenanalysen von großer Relevanz, so dass unvollständige Daten zu SUG, Komponenten bzw. Elementen, die maßgeblich solche Prozesse beeinflussen, zu nicht belastbaren Ergebnissen führen können.

Insofern sind nachfolgend die Ergebnisse der Prüfung, gegliedert nach den beiden geprüften Berichten und untergliedert nach einzelnen relevanten Prozessen, zu Stoffen aufgeführt, bei denen die Vollständigkeit der Angaben bzw. Annahmen in Frage zu stellen ist.

3.2.1. Bericht von Herzog & Schneider (2001)

3.2.1.1. Gasbildung

Fe-Metalle: Fe-Metalle machen in allen ELK einen relativ großen Teil der Gesamtabfallmenge aus; in ELK 8a/511 m sogar ca. 80 M.-% (Herzog & Schneider, 2001). Allerdings ist ein Großteil dieser Metalle nicht weiter differenziert. Je nach Stahlart (Baustahl, Edelstahl etc.) sind im Kontakt mit wässriger Lösung sehr unterschiedliche Korrosionsraten (und damit Gasbildungsraten) zu erwarten. Umfang und Geschwindigkeit der Korrosion und die Zusammensetzung der Korrosionsprodukte sind im Wesentlichen von den Metalleigenschaften, der Temperatur und dem vorherrschenden geochemischen Milieu (insbes. der Verfügbarkeit von Sauerstoff) abhängig. Nach Verbrauch des Sauerstoffs finden nur noch anaerobe Korrosionsprozesse unter Bildung von H₂ statt und es stellen sich stark reduzierende Redox-Bedingungen ein (Wolf et al. 2012). Die in Buchheim et al. (2004) hierauf aufsetzend durchgeführte weitere Aufgliederung in Komponenten und Elemente ist nicht nachvollziehbar.

NE-Metalle: In Herzog & Schneider (2001) ist ein Großteil der NE-Metalle nicht näher spezifiziert. Wichtige Metalle hinsichtlich der Gasbildung sind Aluminium und Zink.

Kunststoffe: Kunststoffe spielen hinsichtlich ihrer Masse im Abfall eine signifikante Rolle. Bspw. liegen in ELK 2/750 m ca. 13 M.-% Kunststoffe vor (eigene Berechnung mittels der in Herzog & Schneider (2001) angegebenen Daten: Summierung der Kunststoffmassen im Abfallmaterial bezogen auf die gesamte Abfallmasse). Allerdings wird ein Großteil der Kunststoffe nicht näher spezifiziert. Das Degradationsverhalten von Kunststoffen ist von der Zusammensetzung des jeweiligen Polymers abhängig und je nach Polymer (PE, PVC, PS usw.) ergeben sich verschiedene Zersetzungsprodukte, die unterschiedliche Auswirkungen auf eine Radionuklid-Mobilisierung haben können. Die Zersetzung von Organika wird in der Regel durch mikrobielle Aktivitäten gesteuert. Kunststoffe sind allerdings schwer abbaubar, bzw. einige Kunststoffe wie PVC sind als biologisch inert bekannt. Im Allgemeinen geht die Zersetzung von Kunststoffen mit der Bildung von Gasen einher. Die wichtigsten (gasförmigen) Zersetzungsprodukte der meisten Kunststoffe sind CH₄, CO₂ und H₂ (Parkes, 2011), wobei die Gasmenge und die Gasart das wiederum geochemische Milieu (z. B. pH-Wert, Redox-Potenzial des Lösemittels) beeinflussen.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 28 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Weiterhin können die Additive (z. B. Weichmacher) aus ihrer Kunststoff-Matrix diffundieren und schließlich für mikrobielle Umsetzungsprozesse zur Verfügung stehen (und damit evtl. zur Bildung von Gas führen) (Humphreys et al., 2010). In weichem PVC liegt der Gehalt an Weichmachern bei ca. 20-50 Vol.-% (Lindström, 2007). Allerdings können die Gehalte auch höher liegen, bis zu max. 70 Vol.-% (Smith et al., 2013).

Salze: Salze kommen in einigen Einlagerungskammern in großen Mengen vor. Beispielsweise werden laut Herzog & Schneider (2001) in ELK 6/750 m rund 20,1 M.-% der dortigen Abfallmasse durch Salze gebildet. Salze sind in Herzog & Schneider (2001) jedoch nicht näher spezifiziert. Wichtiger Inhaltsstoff im Abfall hinsichtlich der Gasbildung sind beispielsweise die Massen von Nitrat und Sulfat, da diese Substanzen als Nährstoffe für Mikroben beim Abbau von bestimmten organischen Stoffen dienen können.

Zellulose: Der Abbau von Zellulose spielt vor dem Hintergrund der CO₂-Bildung bzw. der Bildung des Komplexbildners Iso-saccharinsäure (bei hohen pH-Werten) eine große Rolle. Hinsichtlich der Vollständigkeit wurden jedoch keine Mängel in der Prüfunterlage gefunden.

3.2.1.2. Komplexbildung, Sorption/Desorption

Fe-Metalle: Die Korrosionsraten können sich je nach Stahlart und geochemischen Bedingungen sehr unterscheiden. Die Bildungsrate der Korrosionsprodukte ist bedeutend für die Sorption (und somit Rückhalt von) Radionukliden.

Zellulose: Zellulosehaltige Abfälle machen in einigen ELK einen bedeutenden Anteil der Abfälle aus (z. B. ca. 26 M.-% in ELK 2/750 m). Textilien (Baumwolle) und Papier bestehen zum größten Teil aus Zellulose und daher kann deren Zusammensetzung als „Zellulose“ beschrieben werden. Das im Abfall vorhandene Holz besteht nicht zu 100 % aus Zellulose. Holz setzt sich aus Kohlenhydraten (65-75 % der Trockenmasse) und Lignin (18-35 % der Trockenmasse) zusammen. Der Kohlenhydratanteil besteht seinerseits aus Zellulose (40-50 % der Trockenmasse) und Hemizellulose (25-35 % der Trockenmasse) (Kidd, 1980). Hinsichtlich ihres Degradations-verhaltens unterscheiden sich Hemizellulosen von Zellulosen. Während Zellulose kristallin und widerstandsfähig hinsichtlich Hydrolyse ist, hat Hemizellulose eine amorphe Struktur und ist somit weniger stabil als Zellulose (und degradiert schneller). Hemizellulose wird in verdünnten Säuren oder Basen leicht hydrolysiert (Walton, 2009). Weiterhin können sich unterschiedliche Degradationsprodukte bilden. Beispielsweise entstehen unter alkalischen Bedingungen durch die Zersetzung von Zellulose u. a. Iso-saccharinsäure (ISA), während bei der Degradation von Hemizellulosen (auch) Xylo-isosaccharinsäure (X-ISA) entsteht. Randall et al. (2013) haben allerdings in Experimenten gezeigt, dass X-ISA ähnliche Komplexbildungseigenschaften zeigt und eine Erhöhung der Löslichkeit von Th und Eu bei pH 12 bewirkt wie ISA.

Sollten zukünftige Studien zeigen, dass die X-ISA und ISA deutlich unterschiedliche Einflüsse auf die RN-Mobilisierung haben (z. B. in Abhängigkeit des pH-Wertes), sollten diese Substanzen für eine Konsequenzenanalyse entsprechend differenziert werden.

Komplexbildner: Nach den Daten von Herzog & Schneider (2001) spielen Komplexbildner in den jeweiligen ELK mengenmäßig nur eine unbedeutende Rolle, da sie bezogen auf die gesamte

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 29 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Abfallmasse mit weniger als 1 M.-% vertreten sind. Komplexbildner können allerdings die Löslichkeit und Mobilität von Radionukliden deutlich erhöhen (Keith-Roach, 2008).

Herzog & Schneider (2001) untergliedert in „EDTA“ (ein Komplexbildner) und „Komplexbildner“, aber letztere werden nicht definiert. Auch wird in Herzog & Schneider (2001) (wie in Buchheim et al. (2004)) keine Information zur Herleitung der Komplexbildner in den Abfällen gegeben. Im Abfall vorkommende Komplexbildner sind nach Buchheim et al. (2004) Na₃-Citrat, K₃-Citrat, Na₂-Hydrogencitrat, Na₂-Tartrat, Na₂-Oxalat; EDTA wird in Fe(NH₄)-EDTA, Na₂-EDTA untergliedert. Weitere Komplexbildner, die in der Nuklearindustrie angewendet werden und nicht in Herzog & Schneider (2001) (und auch nicht in Buchheim et al. (2004)) erwähnt werden, sind Nitrilotriessigsäure (NTA) und Picolinsäure. EDTA ist ein hexadentater Komplexbildner, NTA ist tetradentat und Picolinsäure bidentat. EDTA bildet im Vergleich zu den genannten Komplexbildnern mit Kationen und Radionukliden die stabilsten Komplexe und zählt aufgrund seiner Persistenz zu den wassergefährdenden Stoffen. Ein weiterer erwähnenswerter Aspekt ist die Möglichkeit der Bildung von gemischten Liganden-Komplexen wie [M¹_NTA_EDTA]⁴⁻ und [Th_NTA_EDTA]³⁻ im Falle der Anwesenheit beider Komplexbildner NTA und EDTA (Keith-Roach, 2008).

Kunststoffe: Aus den Kunststoffen diffundierende Additive wie Weichmacher können u. U. eine separate Phase bilden (non-aqueous phase liquid; NAPL). Ungeladene Spezies werden bevorzugt in diese Phase partitionieren und haben somit ein verändertes Transport- und Löslichkeitsverhalten (im Gegensatz zu in Wasser gelösten Spezies). Andererseits können NAPL-Oberflächen belegen (z. B. Zementphasen) und somit potenzielle Sorptionsplätze für RN besetzen (Smith et al., 2013).

Betonzusatzmittel (BZM): In Herzog & Schneider (2001) werden BZM nicht berücksichtigt.

Beispielsweise werden Ligninsulfonate seit den 1930er Jahren als Betonverflüssiger eingesetzt. Vorteile sind die Reduktion der benötigten Wassermengen und die bessere Bearbeitbarkeit der Betone (Roussel, 2012). Ab den frühen 1970er Jahren kamen sulfonierte Polykondensate auf Basis von Naphtalin oder Melamin und Formaldehyd auf den Markt (Schober & Zimmermann, 2011).

BZM werden allgemein bis 5 M.-% des Zementanteils zugegeben (Kampen & Richter, 2014).

Greenfield et al. (1998) fanden beispielsweise eine drastische Erhöhung der Löslichkeit von Am, Pu, U und Th unter hochalkalischen Bedingungen in Anwesenheit von Ligninsulfonaten (Betonverflüssiger). Die Autoren erklären dies durch die Bildung von Additiv-Radionuklid-Komplexen. BZM sollten daher konservativerweise als Bestandteile der Zemente angenommen werden.

In der Liste der Komponenten in Buchheim et al. (2004) konnte ebenfalls kein für den Einlagerungszeitraum gängiges BZM gefunden werden. Die Nicht-Berücksichtigung der BZM wird in keiner der beiden Studien diskutiert oder begründet.

¹ M: Metallkation, z. B. Eu(III), Am(III)

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 30 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Hinsichtlich des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik sieht auch ein Endlagerkonzept für ein niederländisches Endlager die Verwendung diverser BZM vor, etwa für die Zemente zur Abfallkonditionierung aber auch für die Betone die zur Stabilisierung der Einlagerungskammern und als Hinterfüllmaterial verwendet werden (Verhoef et al., 2014).

Gummi: Gummi kommt in den Abfällen nur in geringen Mengen vor (ca. 1 % bezogen auf die Abfallmasse wie bspw. in ELK 4/750 m). Hinsichtlich der Zusammensetzung von Gummi sollte ein gewisser Additivgehalt angenommen werden (dieser könnte möglicherweise mit jenem der Kunststoffe summiert werden). Synthetische Gummis enthalten bspw. bis zu 30 % Weichmacher (Phtalate, Adipate, Azelate) aber auch andere Additive wie Anti-Oxidationsmittel (NDA, 2012). Weichmacher können separate Phasen in Wasser bilden (siehe oben).

Hinsichtlich ihrer Zusammensetzung können Gummis sehr unterschiedlich sein. Neopren (auch bekannt unter dem Namen Polychloropren) ist bspw. ein Synthetikgummi und im Rahmen dessen Degradation könnte HCl freigesetzt werden. Ist Neopren radioaktiver Strahlung ausgesetzt, können sich (in Abhängigkeit der Dosis/Dosisleistung) einige Degradationsprodukte bilden wie bspw. N-Methylanilin (Dawson, 2013).

Weiterhin ist aufgefallen, dass Herzog & Schneider (2001) Gummi nicht in den Laborabfällen auflisten. Da in Laboren oftmals Latexhandschuhe verwendet werden, ist Gummi im Inventar der Laborabfälle zu erwarten.

Salze: Die Zusammensetzung der Salze beeinflusst allg. durch deren Lösung das geochemische Milieu (solange die Grubenlösung nicht an diesen Salzen gesättigt ist) und damit möglicherweise auch die Radionuklid-Speziation und die Transporteigenschaften der Radionuklide.

3.2.2. Bericht von Buchheim et al. (2004)

Hinsichtlich möglicher Stoffe, die eine Radionuklidmobilisierung beeinflussen, ist die Anzahl der Stoffe in Buchheim et al. (2004) sehr umfangreich. Folgende Aspekte hinsichtlich der Prüfung der Vollständigkeit der Stoffe sind aufgefallen:

- In der Liste der Komponenten konnte kein für den Einlagerungszeitraum gängiges BZM gefunden werden. Buchheim et al. (2004) betrachtet diese Stoffgruppe offensichtlich nicht.
- Es ist nicht nachvollziehbar, ob Buchheim et al. (2004) Additive für die Kunststoffe annehmen. Als Abfallmaterial (SUG) wird „PVC (weich)“ angegeben und es findet sich in der Liste der Komponenten ein typischer Weichmacher namens Dioctylphthalat (DOP). Es ist allerdings nicht nachvollziehbar, ob dieser Stoff als Bestandteil des PVC angesetzt wurde bzw. in welchem Zusammenhang der Stoff mit den SUG steht (befindet sich der Weichmacher innerhalb einer Kunststoffmatrix oder liegt er frei vor?).
- Es werden von Buchheim et al. (2004) keine Annahmen hinsichtlich des Vorhandenseins von Komplexbildnern wie NTA und Picolinsäure im Abfallinventar getroffen, obwohl diese Substanzen üblicherweise in der Nuklearindustrie genutzt wurden bzw. werden (siehe auch Kapitel 3.2.1.2).

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 31 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

- Buchheim et al. (2004) nehmen an, dass organische Bromverbindungen nicht im Abfallinventar enthalten sind. Beispielsweise sind bromierte Flammschutzmittel seit den 1960er Jahren kommerziell erhältlich (Janssen, 2005). Diese Verbindungen werden in einer Vielzahl von Materialien wie bspw. in Kunststoffen mit bis zu 15 M.-% zugesetzt (LfU, 2014).
- Hinsichtlich einer Gefährdung des Grundwassers spielen bromierte Flammschutzmittel eine bedeutende Rolle, da viele von ihnen persistent, bioakkumulativ und/oder toxisch für Gewässerorganismen sind. Die weltweit meistverbrauchten Flammschutzmittel (Stand 2008) sind polybromierte Diphenylether (PBDE), Decabromdiphenylether (DecaBDE), Tetrabispfenol A (TBBPA) und Hexabromcyclododecan (HBCD) (Umweltbundesamt, 2008). DecaBDE wird hauptsächlich als Flammschutzmittel bei Kunststoffgehäusen in Elektro- und Elektronikgeräten sowie Textilien verwendet. TBBPA wird vor allem in Leiterplatten genutzt, in geringen Mengen auch in Gehäusekunststoffen. HBCD wird dagegen hauptsächlich bei Dämmstoffen und Textilien, seltener Gehäusekunststoffen genutzt (Umweltbundesamt, 2008).

Weitere PBDE, deren Inverkehrbringen allerdings seit 2004 in der EU verboten ist, sind PentaBDE und OctaBDE (Umweltbundesamt, 2008). Diese waren seit etwa 1970 als Flammschutzmittel in Gebrauch (Gensler, 2007). PBDE wurden insbesondere als additive Flammschutzmittel in Kunststoffen benutzt, d.h. sie sind nicht chemisch in die Polymermatrix der Kunststoffe eingebunden und können daher aus dem Material entweichen, bspw. durch Ausdunsten oder Partikelabrieb (LfU, 2014).

PBDE wurden in der Elektro-, Elektronik-, Bau, Transport- und Textilindustrie eingesetzt (bis zu 15 M.-% in den betreffenden Kunststoffen). Weiterhin wurden PBDE in Farben, Tapeten, Matrasen, Möbelstoffen, einigen Bodenpflegemitteln, Be- und Entlüftungssystemen, Bodenbelägen, Dämmstoffen auf Kunststoffbasis und Ausschäummitteln genutzt (LfU, 2014).

Die als Flammschutzmittel (aber auch Weichmacher für Kunststoffe) genutzten polybromierte Biphenyle (PBB) waren seit den frühen 1970er Jahren erhältlich und wurden in Deutschland bis 1985 hergestellt (Alaee et al., 2003). Inzwischen sind die PBB wegen ihrer schädlichen Stoffeigenschaften vom Markt verschwunden (Umweltbundesamt, 2008).

Betrachtet man beispielsweise ELK 2/750 m mit einer eingelagerten Kunststoffmasse von 196.107 kg (was ca. 13 M.-% der gesamten Abfallmasse in der genannten ELK entspricht) und nimmt (sehr) konservativ an, dass diese Kunststoffe einen Flammschutzmittel-Gehalt von 15 M.-% haben, ergibt sich eine Masse von ca. 29 Mg an Flammschutzmitteln. Bezogen auf die gesamte Abfallmasse in der genannten ELK entspricht dies ca. 2 M.-%. Die Massen sind aufgrund ihrer Relevanz für eine mögliche Grundwassergefährdung nicht zu vernachlässigen. Diese Vorgehensweise zur Abschätzung der Flammschutzmittel könnte auch auf die anderen ELK angewendet werden.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 32 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

- Buchheim et al. (2004) nehmen an, dass organische Zinnverbindungen nicht im Abfallinventar enthalten sind. Mono- und Diorganozinnverbindungen sind allerdings als hochwirksame Stabilisatoren in der PVC-verarbeitenden Industrie seit vielen Jahrzehnten fest etabliert und unentbehrlich für die Herstellung von vielen PVC-Produkten (Klingmüller & Watermann, 2000).

Organozinnmercaptoester werden bspw. als Wärmestabilisatoren verwendet, während Organozinn-carboxylate v. a. die Verwitterung der Kunststoffe im Außenbereich verhindern (Klingmüller & Watermann 2000).

Hinsichtlich ihrer Konzentration in Kunststoffen liegen die Mono- und Diorganozinnverbindungen bei ca. 2 M.-% des Kunststoffgewichtes. Bei etwa 20 M.-% Zinnanteil des Stabilisators liegt der Zinngehalt somit bei 0.4 M.-% im Endprodukt (Klingmüller & Watermann 2000). Betrachtet man beispielsweise ELK 2/750 m mit einer eingelagerten Kunststoffmasse von 196.107 kg (dies entspricht ca. 13 M.-% bezogen auf die gesamte Abfallmasse in der genannten ELK) und nimmt konservativ an, dass es sich bei diesen Kunststoffen um PVC handelt, errechnet sich eine Masse von ca. 4 Mg an Organozinnverbindungen in dieser Einlagerungskammer. Bezogen auf die Gesamtmasse des eingelagerten Abfalls liegen somit 0,3 M.-% Organozinnverbindungen vor.

Hinsichtlich einer möglichen Grundwassergefährdung sollten die Massen der Organozinnverbindungen daher berücksichtigt werden.

- Teilweise sind die für bestimmte Substanzen gewählten Begriffe/Kurzformen/Abkürzungen unklar und es gibt keine entsprechende Definition (bspw. „Korrosionsprodukte“).

3.3. PRÜFUNG AUF VOLLSTÄNDIGKEIT HINSICHTLICH EINER DURCHFÜHRENDE WASSERRECHTLICHEN BEWERTUNG

Die Anforderungen bzgl. der zu spezifizierenden Stoffe für eine wasserrechtliche Bewertung leiten sich aus gesetzlichen und untergesetzlichen Vorgaben ab.

In Buchheim et al. (2004) wird vor diesem Hintergrund eine Ableitung von Stoffen (Komponenten und Elementen) ausgehend von den SG und SUG nach Herzog & Schneider (2001) durchgeführt, wobei die Angaben in Herzog & Schneider (2001) im Rahmen einer Plausibilitäts- und Vollständigkeitsprüfung durch das GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit – Forschungsbergwerk Asse in Teilen korrigiert worden sind. In Buchheim et al. (2004) werden somit die in Teilen korrigierten Daten verwendet.

Die Vorgehensweise (Methodik) in Buchheim et al. (2004) ist nachvollziehbar (Zwiebelschalenmodell; Identifikation von nachzuweisenden Stoffen gem. gesetzlicher und untergesetzlicher Vorgaben). Die zu betrachtenden Stoffe müssen jedoch den heute gültigen gesetzlichen und untergesetzlichen Vorgaben entsprechen, was offenkundig jedoch nicht in Buchheim et al. (2004) erfolgen konnte.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 33 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Die Vollständigkeit der in Buchheim et al. (2004) mit Bezug auf die zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts gültigen gesetzlichen und untergesetzlichen Rahmenbedingungen ermittelten Stoffe (Komponenten und Elemente) ist in der in Buchheim et al. (2004) vorgelegten Form nicht bewertbar, da in Buchheim et al. (2004) die Grundlage für die Zuweisung von Komponenten und Elementen zu SUG und SG nicht nachvollziehbar erläutert wird. Eine Plausibilitätsprüfung ist auf Grundlage der Inhalte des Berichts ebenfalls nicht durchführbar, da die Fülle an abgeleiteten Komponenten und die anschließend daraus abgeleiteten Elemente eine eindeutige Reproduzierbarkeit nicht zulassen. Die zu Grunde gelegten Stoffzusammensetzungen werden nicht nachvollziehbar begründet und erläutert; die anschließende Ableitung von Elementen macht in der vorgelegten Form auch keine Zuordnung der Elemente zu Komponenten nachvollziehbar.

Letztendlich würde eine umfassende Prüfung hinsichtlich Nachvollziehbarkeit, Plausibilität, Konsistenz und Vollständigkeit der in Buchheim et al. (2004) erarbeiteten Ergebnisse auf eine vollständige und erneute Erarbeitung der Primärquellen und Ergebnisse hinauslaufen, die jedoch ohne Kenntnis der getroffenen Annahmen und der genutzten Primärquellen nicht einer Prüfung, sondern einer eigenständigen Erarbeitung des stofflichen Inventars der Schachanlage Asse II entspräche.

3.4. PRÜFUNG DER KONSISTENZ DER ANGABEN IN DER ASSEKAT VERSION 8.0 (STAND 06/2016) MIT HERZOG & SCHNEIDER (2001)

Um die Konsistenz der Angaben in der Assekat Version 8.0 (Stand 06/2016) mit jenen in der Unterlage von Herzog & Schneider (2001) zu prüfen, wurden im ersten Schritt die in Herzog & Schneider (2001) angegebenen Massen der Verpackungsmaterialien, Konditionierungsmaterialien und Abfallmaterialien mit der Datenbank stichprobenartig verglichen. Aufgrund der großen Datenmenge konnte nur ein kleiner Teil der Angaben geprüft werden. Es war wichtig einen Zusammenhang zwischen der genannten Unterlage und der Datenbank herzustellen, um letztere für weitere Betrachtungen nutzen zu können (wie bspw. für die Prüfung des Eingangs der Daten der Begleitscheine in die Unterlage Herzog & Schneider (2001)). Die Ergebnisse der Prüfung sind in Kapitel 3.4.1 beschrieben.

3.4.1. Vergleich der angegebenen Massen

- Die Gesamtmassen der in Herzog & Schneider (2001) jeweils genannten Verpackungsmaterialien (S. 65) decken sich mit den in der Assekat Version 8.0 (Stand 06/2016) angegebenen Werten.
- Bis auf die SUG „A-Kohle“ decken sich die in Herzog & Schneider (2001) genannten Gesamtmassen der Konditionierungsmaterialien (S. 65) mit den Angaben in der Assekat Version 8.0 (Stand 06/2016). Für „A-Kohle“ gibt Herzog & Schneider (2001) eine Masse von 36 Mg an, während die Datenbank einen Wert von 34,583 Mg angibt. Die Abweichung von ca. 1 Mg kann als unerheblich erachtet werden.
- Fast alle Gesamtmassen der jeweiligen Abfallmaterialien in der Datenbank decken sich mit den Angaben in Herzog & Schneider (2001) (S. 66-67). Diskrepanzen finden sich bei Fe-Metalle1 (Stahl): in Herzog & Schneider (2001) sind 101 Mg angegeben (S. 66),

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 34 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

während die Datenbank ca. 110 Mg angibt. Die Diskrepanz ist vermutlich ein Tippfehler und in Bezug auf die Gesamtmassen der Fe-Metalle irrelevant. Weitere Diskrepanzen wurden bei NE-Metall1 (Pb) (in der Datenbank sind 16 Mg weniger angegeben als in Herzog & Schneider (2001)), LM1 (in der Datenbank sind 11 Mg mehr angegeben) und LM2 (in der Datenbank sind 11 Mg weniger angegeben) gefunden.

- In einem weiteren Schritt wurde eine ELK-spezifische Konsistenzprüfung der Massen der Verpackungsmaterialien durchgeführt. Für diese Auswertung wurden lediglich die Massen der Fe- und NE-Metalle betrachtet, die für die Behälter genutzt wurden. Es wurde festgestellt, dass die angegebenen Massen der Behälter (d. h. Metalle) in der Datenbank sich exakt mit jenen in der Unterlage Herzog & Schneider (2001) decken.
- Die ELK-spezifische Konsistenzprüfung der Massen der Konditionierungsmaterialien wurde ebenfalls stichprobenartig durchgeführt, wobei für jede ELK die Massen des Zements, Sand/Kies und Wasser (gebunden) geprüft und verglichen wurden. Die Massen der Konditionierungsmaterialien decken sich (auch ELK-spezifisch) mit den Angaben in der Unterlage Herzog & Schneider (2001).
- Die stichprobenartige und ELK-spezifische Prüfung der Konsistenz ausgewählter Abfallmassen (z. B. Metalle, Bauschutt, Verdampferkonzentrate, EDTA) in der Datenbank mit den Werten in Herzog & Schneider (2001) hat gezeigt, dass sich die Werte in der Assekat Version 8.0 (Stand 06/2016) mit jenen in Herzog & Schneider (2001) (zumindest im Falle der stichprobenartigen Prüfung) decken.

Im Ergebnis dieser Prüfung ist somit festzustellen, dass die Gesamtmasse der verschiedenen in der Konsistenzprüfung berücksichtigten Materialien in der Datenbank mit jener in Herzog & Schneider (2001) weitgehend übereinstimmt. Die angegebene Gesamtmasse der Assekat mit ca. 27.086 Mg liegt 12 Mg unterhalb der angegebenen Gesamtmasse von 27.098 Mg in Herzog & Schneider (2001). Diese identifizierte Diskrepanz ist in Bezug auf die Gesamtmasse nicht relevant. Aufgrund der großen Masse an Daten wurden bei den einzelnen ELK ebenfalls nur die Angaben zu den jeweiligen Gesamtmassen geprüft, insbesondere was die Abfälle angeht (vgl. Tabelle 3-4). Aufgrund von Rundungen bei den Angaben in Herzog & Schneider (2001) liegt hier die Diskrepanz bei 19 Mg.

Im Ergebnis der Prüfung ist somit festzustellen, dass aufgrund der guten Übereinstimmung der Gesamtmassen eine Konsistenz zwischen den Daten in der Assekat Version 8.0 (Stand 06/2016) und jenen in Herzog & Schneider (2001) vorliegt.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 35 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Tabelle 3-4: Vergleich der Gesamtmassen des eingelagerten Materials (Abfallstoffe) in den einzelnen Einlagerungskammern.

ELK	Gesamtmasse Abfallmaterial pro ELK [Mg]						
	8a/511m	6/750m	4/750m	1/750m	2/750mNa2	7/750m	11/750m
Assekat	394	835	749	1956	9107	542	1962
Herzog & Schneider (2001)	394	833	750	1956	9113	542	1970
Differenz [Mg]	<i>0</i>	<i>2</i>	<i>-1</i>	<i>0</i>	<i>-6</i>	<i>0</i>	<i>-8</i>
ELK	5/750m	7/725mNa2	10/750m	8/750m	12/750m	2/750m	
Assekat	2362	2235	1086	2952	1398	1508	
Herzog & Schneider (2001)	2362	2236	1086	2957	1399	1507	
Differenz [Mg]	<i>0</i>	<i>-1</i>	<i>0</i>	<i>-5</i>	<i>-1</i>	<i>1</i>	

3.4.2. Prüfung des Übergangs der Angaben der Begleitscheine in die Unterlage Herzog & Schneider (2001)

Im Rahmen dieser Arbeit wurde weiterhin exemplarisch die Prüfung des Übergangs der Informationen der Begleitscheine („Chargen-mod“ in der Assekat Version 8.0 (Stand 06/2016)) in die Unterlage Herzog & Schneider (2001) durchgeführt. Mit diesem Beispiel wird gezeigt, dass eine derartige Prüfung generell möglich ist.

Für die Prüfung wurden im ersten Schritt in der Datenbank all jene Begleitscheine herausgefiltert, die Angaben zu ELK 8a/511 m machen und die Schrott oder Metalle deklarierten. Unter Nutzung der Angaben in Herzog & Schneider (2001) zu Volumen-Anteilen und Dichten und der jeweiligen in der Datenbank angegebenen Verpackung konnten die in Herzog & Schneider (2001) angegebenen Massen exakt nachvollzogen werden.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 36 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

4 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Die in den Abschnitten 2 und 3 gemachten Aussagen zeigen, dass die Nachvollziehbarkeit und Vollständigkeit der in Herzog & Schneider (2001) und Buchheim et al. (2004) gemachten Angaben belastbar nur festgestellt werden kann, wenn die Ergebnisse reproduziert werden können. Im Endeffekt führt eine mangelnde Primärquellenlage in beiden Berichten dazu, dass viele der Ergebnisse in der vorgelegten Form unseres Erachtens nicht belastbar sind, da sie in weiten Teilen weder belegt noch begründet werden. Dies betrifft sowohl die in den Berichten aufgeführten Daten und Annahmen als auch teilweise die benutzten Berechnungsvorschriften. Diese Erkenntnisse führen allerdings explizit nicht zu der Einschätzung, dass die Ergebnisse der Berichte inkorrekt sein müssen, sondern nur zu der Aussage, dass die Ergebnisse der Berichte zum stofflichen Inventar der Schachanlage Asse II nicht nachprüfbar sind.

In den nachfolgenden Abschnitten 4.1 und 4.2 werden daher zunächst die konkreten Handlungsempfehlungen zusammengefasst, welche sich aus der Prüfung in Abschnitt 3 hinsichtlich der Nachvollziehbarkeit, Plausibilität und Vollständigkeit sowie der Konsistenz der Angaben zum eingelagerten Material ableiten. Wir kommen jedoch zusammenfassend zum Ergebnis, dass eine belastbare Aussage zum Inventar letztendlich nur dadurch erreicht werden kann, dass die bei der Erarbeitung beider Berichte von den damaligen Autoren zu Grunde gelegten Daten, verfügbar gemacht werden können und damit die Ergebnisse in beiden Berichten nachvollzogen werden können.

Daher sind die aus unserer Sicht zu empfehlenden Maßnahmen zur weiteren Vorgehensweise in Abschnitt 4.3 letztendlich die Grundlage für die Behebung der identifizierten Defizite, da das wesentliche Defizit in der zu Grunde gelegten Datenbasis und der angewendeten Methodik zur Spezifizierung der Stoffgruppen, Stoffuntergruppen und Elemente besteht. Die Handlungsempfehlungen in den Abschnitten 4.1 und 4.2 sind somit Teil der Maßnahmen in Abschnitt 4.3 und sollten je nach gewählter Alternative (Maßnahme 1 oder Maßnahme 2) bei der konkreten Ausarbeitung eines Arbeitsplans in diesen als Arbeitspunkte einfließen.

4.1. HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUM INVENTAR

Die gewählte Unterteilung in Stoffgruppen und Stoffuntergruppen sollte detailliert geprüft und nachvollziehbar dokumentiert werden. Die für bestimmte Substanzen gewählten Begriffe/Kurzformen/Abkürzungen sollten geklärt und entsprechend definiert werden.

Weiterhin sollten hinsichtlich der Zusammensetzung des Inventars insbesondere folgende Abfallarten detaillierter charakterisiert werden:

- **Mischabfall:** Die Herleitung der genauen Zusammensetzung sollte geklärt werden, da diese Stoffgruppe gem. der Assekate Datenbank einen Anteil von 41 % an der eingelagerten Abfallmasse besitzt.
- **Metalle:** Die in Buchheim et al. (2004) durchgeführte weitere Aufgliederung in Komponenten und Elemente dieser Stoffgruppe ist nicht nachvollziehbar. Die Primärquellen sollten daher auf Hinweise/Begründungen zu dieser Aufgliederung

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 37 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

untersucht werden. In Herzog & Schneider (2001) wird zudem ein Großteil der NE-Metalle nicht näher spezifiziert. Da die Stoffgruppe „Schrotte/Metalle“ gem. der Assekat Datenbank mit ca. 21 % einen hohen Anteil an der eingelagerten Abfallmenge besitzt, sowie auch die Stoffgruppe „Mischabfälle“ metallische Stoffuntergruppen enthält und Metalle sowohl bei der Gasbildung als auch bei der Radionuklidmobilisierung eine wichtige Rolle spielen, sollte eine detailliertere Beschreibung dieser Stoffgruppe erfolgen.

- **Komplexbildner:** Herzog & Schneider (2001) liefert keine Information zur Herleitung der Komplexbildner in den Abfällen. Die Herleitung sowie die Definition der Stoffuntergruppe „Komplexbildner“ sollte erläutert werden. Sollten außerdem zukünftige Studien zeigen, dass die verschiedenen Komplexbildner unterschiedliche Einflüsse auf die RN-Mobilisierung haben (z. B. in Abhängigkeit des pH), sollten die Komplexbildner entsprechend differenziert werden.
- **Kunststoffe:** Es sollten Annahmen hinsichtlich der Additiv-Konzentrationen (Weichmacher) der Kunststoffe getroffen werden, um die Gasbildung durch mikrobielle Umsetzungsprozesse quantifizieren zu können.
- **Gummi:** Der Beitrag von Laborabfällen (bspw. Latexhandschuhe) zu dieser Stoffuntergruppe wurde in Herzog & Schneider (2001) nicht berücksichtigt und sollte daher im Hinblick auf die Relevanz der Weichmacher (s. Kunststoffe) abgeschätzt werden.
- **Salze:** Da Salze als Stoffuntergruppe in einigen Einlagerungskammern in großen Mengen vorkommen (die Gesamtmenge beträgt ca. 1.330 Mg) und deren Inhaltsstoffe Nitrat und Sulfat als Nährstoffe für Mikroben und somit zur Gasbildung beitragen können, sollte weiterhin geprüft werden, ob es hinsichtlich des zu erwartenden Sättigungsgrades der Grubenlösung sinnvoll ist, im Rahmen von Modellrechnungen Annahmen hinsichtlich der Salzzusammensetzung zu treffen, da dies Einfluss auf die Radionuklidmobilisierung hat.
- **Betonzusatzmittel (BZM):** In Herzog & Schneider (2001) werden BZM nicht berücksichtigt. Diese Additive sollten konservativerweise als Bestandteile der Zemente angenommen werden.
- **Zellulose:** Hinsichtlich der zu empfehlenden detaillierteren Beschreibung der Zusammensetzung der Zelluloseabfälle sollten insbesondere auch (zukünftige) Studienergebnisse zu den unterschiedlichen Einflüssen auf die RN-Mobilisierung durch Iso-saccharinsäure (ISA) und Xylo-isosaccharinsäure (X-ISA) berücksichtigt werden.
- **Organische Bromverbindungen:** Die Anwesenheit organischer Bromverbindungen im stofflichen Abfallinventar sollte aus Gründen der Konservativität angenommen werden, da es sich um wassergefährdende Stoffe handelt.

 BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 38 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

4.2. HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZU BANDBREITEN

Weiterhin werden die Herleitung und konkrete Zuweisung der Fehlerbandbreiten zum Abfallinventar in Herzog & Schneider (2001) und Buchheim et al. (2004) nicht dargestellt und begründet. Im Ergebnis der hier durchgeführten Untersuchungen ist festzustellen, dass die Wahl und Zuweisung der Bandbreiten zum Abfallinventar mit auffallenden Ungewissheiten verbunden sind (vgl. Abschnitt 3.1.3):

- Es sollte abschließend im Detail geklärt werden, inwieweit die genannten Fehlerbandbreiten von 10 %, 30 % und 50 % für die Klassifizierung vorliegender Ungewissheiten zum Inventar gemäß Abschnitt 3.1.3 geeignet und somit für eine entsprechende Quantifizierung verwendbar sind.
- Es sollte zumindest für einige nicht-triviale Beispiele im Detail geklärt werden, wie die jeweiligen Fehlerbandbreiten konkret zugewiesen wurden.
- Es sollte außerdem geklärt werden, inwieweit die in Buchheim et al. (2004) jeweils zugewiesenen Fehlerbandbreiten tatsächlich statistisch als Standardabweichungen zugrunde liegender Verteilungen interpretiert werden können.

4.3. EMPFOHLENE MAßNAHMEN ZUR WEITEREN VORGEHENSWEISE

Aus unserer Sicht stehen zwei alternative Maßnahmen zur Auswahl:

1. Verfügbarmachung der Primärquellen, die bei der Erarbeitung beider Berichte von den damaligen Autoren zu Grunde gelegt wurden (Maßnahme 1).
2. Erneute Erarbeitung des stofflichen Inventars ausgehend von Rohdaten (Informationen aus Assekat Version 8.0 (Stand 06/2016) bzgl. der abgelieferten Abfallchargen) (Maßnahme 2).

4.3.1. Maßnahme 1

Die aus unserer Sicht zu bevorzugende und in einem ersten Schritt umzusetzende Maßnahme ist, die Autoren der beiden zu prüfenden Berichte zu kontaktieren und die von ihnen damals verwendeten Daten (Primärquellen) aus eigenen Recherchen, Interviews mit Abfallanlieferern, Berechnungen usw. zu beschaffen.

Ziel: Das Ziel der hier vorgeschlagenen Maßnahme ist, eine Belastbarkeit der in den Berichten getroffenen Aussagen zu schaffen. Der Einbezug der Primärquellen in die durchzuführende Prüfung kann evtl. in einer reinen Bestätigung der in den Berichten erarbeiteten Ergebnisse münden, die dann jedoch belastbar, weil belegbar oder zumindest begründbar, sind.

Aufwand: Der Aufwand richtet sich nach der Vollständigkeit der Primärdaten:

- für Herzog & Schneider (2001) gehen wir von mehreren Personen-Monaten aus,
- für Buchheim et al. (2004) gehen wir von mehr als einem Personen-Jahr aus.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 39 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

Risiken: Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Prüfung der Primärquellen zur Identifizierung von weiteren Unstimmigkeiten, Unvollständigkeiten oder Inkonsistenzen in den Berichten führt und somit zu einem Überarbeitungsbedarf des stofflichen Inventars der Schachanlage Asse II.

Ein erstes Gespräch vom BS mit Herrn Schneider (Stoller Ingenieurtechnik GmbH) hat ergeben, dass man nicht davon ausgehen kann, dass die damals in Herzog & Schneider (2001) verwendeten Primärquellen sowie Berechnungen und sonstigen Dokumente noch vorhanden sind. Dies wäre in den Archiven von Stoller Ingenieurtechnik GmbH zu recherchieren. Es ist nach Herrn Schneiders Aussage ebenfalls damit zu rechnen, dass einige der in Herzog & Schneider (2001) gemachten Angaben zu SG und SUG auf Expertengesprächen zwischen den damaligen Autoren der Berichte und vormalig mit den Abfällen, die an die Schachanlage Asse II geliefert wurden, befassten Fachleuten der Abfallproduzenten bzw. -anlieferer beruhen, die nicht dokumentiert wurden. Dies ist auch aus den Quellenangaben in Herzog & Schneider (2001) (s. dort Quellenangaben mit „Persönlicher Information“ gekennzeichnet) zu entnehmen. Insofern ist in Bezug auf Herzog & Schneider (2001) nicht einzuschätzen, ob die verwendeten Primärquellen überhaupt noch verfügbar gemacht werden können und falls doch, welchen Mehrwert sie in Bezug auf Belastbarkeit der Ergebnisse erbringen können. Unklar ist auch, ob die Zwischenergebnisse und Berechnungen, die von den Autoren von Herzog & Schneider (2001) erarbeitet wurden, noch vorliegen. Sollten jedoch die Primärquellen – auch wenn ggf. nur z. T. – verfügbar gemacht werden können, gehen wir davon aus, dass die Prüfung der erarbeiteten Ergebnisse effizienter und effektiver durchgeführt werden kann (im Vergleich zu Maßnahme 2).

In Bezug auf die in Buchheim et al. (2004) verwendeten Primärquellen und Berechnungen ist ein weitaus größeres Verständnis der in Buchheim et al. (2004) aufgeführten Daten und Ergebnisse zu erwarten, sollten die verwendeten Primärquellen und Berechnungen vollständig verfügbar gemacht werden können. Wir gehen davon aus, dass in Buchheim et al. (2004) viele Stoffe und Elemente auf Grundlage einer Datenbank ermittelt worden sind, die unserer Kenntnis nach auf einer umfangreichen und langjährigen Recherche seitens der Autoren des Berichts beruht. Der Informationsgehalt der Datenbank, so sie denn verfügbar gemacht werden kann, ist hierbei kritisch zu prüfen, da nicht nur die Zuordnung von Stoffen und Elementen zu SUG und SG zu prüfen ist, sondern insbesondere die Datengrundlagen und Berechnungsverfahren, die diese Zuordnung ermöglicht haben, von Interesse sind. Die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse kann nur bescheinigt werden, wenn die Primärquellen belegt sind. Die Plausibilität kann nur bescheinigt werden, wenn die getroffenen Annahmen in der Datenbank oder anderen Unterlagen begründet werden. Sind solche Informationen nicht in der Datenbank enthalten, ist der Mehrwert allerhöchstens noch in einem Erkenntniszuwachs zu den zu Grunde gelegten Annahmen bei der Zuordnung der Stoffe und Elemente zu sehen, nicht jedoch in einer Erhöhung der Nachvollziehbarkeit, Plausibilität oder in einer daraus ableitbaren Vollständigkeit der Daten.

Potenzieller Mehrwert: Der tatsächliche Mehrwert der Beschaffung der Primärquellen lässt sich nur schwer einschätzen, da die Qualität der (heute noch bei den Autoren verfügbaren) Primärquellen nicht bekannt ist.

Maßnahme 1 ist somit nur dann erfolgsversprechend, wenn

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 40 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

1. die Primärquellen und Berechnungen, die verwendet wurden, verfügbar gemacht werden können und somit die Angaben, Annahmen, Daten und Ergebnisse in den Berichten reproduziert werden können,
2. die damals verwendeten Quellen, die Grundlage für die Primärquellen der Autoren sowie für die Angaben, Annahmen, Daten und Ergebnisse in den Berichten waren, dokumentiert worden sind und
3. auch getroffene Annahmen sowie durchgeführte Berechnungen dokumentiert sind, so dass die Ergebnisse in den Berichten nachvollzogen werden können.

Zu dem erwarteten Mehrwert und den Risiken bei Umsetzung dieses Handlungsvorschlags, lässt sich zusammenfassend festhalten, dass in Abhängigkeit der verfügbar gemachten Qualität der benötigten Informationen gemäß den zuvor genannten Punkten 1-3 der Mehrwert sehr unterschiedlich sein kann und auch das Risiko besteht, dass die Nachvollziehbarkeit, Plausibilität und Vollständigkeit der Ergebnisse der Berichte nicht bescheinigt werden kann.

Daher ist u. E. insbesondere in Bezug auf die zuvor erwähnte Datenbank von Buchheim et al. (2004) vor einer Beschaffung sorgfältig zu prüfen, welcher Mehrwert durch die Beschaffung der Primärquellen tatsächlich erlangt werden kann.

4.3.2. Maßnahme 2

Erneute Bearbeitung des stofflichen Inventars ausgehend von den Rohdaten (Abfallbegleitscheinen), die bspw. in der Assekate Version 8.0 (Stand 06/2016) dokumentiert sind. Diese Maßnahme wird für den Fall empfohlen, dass Maßnahme 1 nicht umgesetzt werden kann oder dass Maßnahme 1 keine belastbaren Ergebnisse liefert.

Ziel: Erstellen einer belastbaren, d. h. nachvollziehbaren oder zumindest plausiblen Aussage zum stofflichen Abfallinventar der Schachanlage Asse II.

Aufwand: Der Aufwand richtet sich nach der Verfügbarkeit der Ansprechpartner. Da parallel dazu eine Literaturrecherche aller in den zu prüfenden Berichten bekannt gemachten Quellen sowie weitergehende Recherchen (analog zu den offenkundig von Buchheim et al. (2004) durchgeführten Recherchen zu Materialzusammensetzungen) durchgeführt werden sollte, ist der Aufwand auch abhängig von der Verfügbarkeit und dem Umfang der Literaturquellen.

- Die erneute Erarbeitung der Daten in Herzog & Schneider (2001) könnte nach unserer Einschätzung 6 bis 9 Personen-Monate benötigen.
- Die erneute Erarbeitung des Abfallinventars in Buchheim et al. (2004) könnte nach unserer Einschätzung 1,5 bis 3 Personen-Jahre benötigen.

Risiken: Ob die Recherche belastbarer Daten zu Stoffgruppen, Stoffuntergruppen, Komponenten und Elementen im benötigten Umfang nach mehr als vier Jahrzehnten grundsätzlich machbar ist, kann nicht eingeschätzt werden. Recherchen, Interviews und Datenerhebungen bei den damaligen Abfallproduzenten wären eine in jedem Fall notwendige Maßnahme, deren Erfolgsträchtigkeit mit

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 41 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

zunehmendem zeitlichen Abstand zu den erfolgten Abfalleinlagerungen abnimmt und die evtl. in Bezug auf einige Abfälle bereits heute nicht umsetzbar ist.

Potenzieller Mehrwert: In Abhängigkeit der verfügbaren Daten liegt der Mehrwert dieser Maßnahme jedoch mindestens in der Schaffung einer belastbaren – wenngleich auch ggf. in Teilen abgeschätzten – Aussage zum stofflichen Inventar der Schachanlage Asse II.

Tabelle 4-1 zeigt zusammenfassend die vorgeschlagenen Alternativen mit erwartetem Mehrwert, Risiken, Zeitaufwand und weiteren Handlungsempfehlungen.

 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG				Gesamtbewertung Iststandsanalysen		
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 44 von 45
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25110000	MAM	RZ	0001	00	Stand: 24.11.2017

KEITH-ROACH, M.J. (2008): The speciation, stability, solubility and biodegradation of organic co-contaminant radionuclide complexes: a review, *Science of the total environment* 396, 1-11.

KIDD, J.R. (1980): Synthesis and Alkaline Degradation of Xylobiose and 2', 3', 4'-Tri-O-Methyl-Xylobiose. The Institute of Paper Chemistry, Doctors Dissertation. Zitiert in Randall et al. (2013).

KLINGMÜLLER, D., WATERMANN, B. (2003): TBT –Zinnorganische Verbindungen – eine wissenschaftliche Bestandsaufnahme. Umweltbundesamt, Berlin. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2245.pdf> (Stand 18.09.2016)

LAWA (2004): Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser, Düsseldorf.

LFU (2014): Bayerisches Landesamt für Umwelt, Stoffinformationen zu besonders besorgniserregenden Stoffen; Bromierte Diphenylether. URL: https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/doc/infoblatt_bromierte_diphenylether.pdf (Stand 18.09.2016)

LINDSTRÖM, A. (2007): Environmentally Friendly Plasticisers for PVC – Improved Material Properties and Long-Term Performance through Plasticizer Design, PhD Thesis, 1-74.

NDA (2012): Geological Disposal Summary of NAPL Studies March 2010, NDA Technical Note no. 17779488, 1-38.

PARKES, R., LINANNA, C., WEBSTER, G., SASS, H., WEIGHTMAN, A.J., HORNIBROOK, E.R., HORSFIELD, B. (2011): Prokaryotes stimulate mineral H₂ formation for the deep biosphere and subsequent thermogenic activity. *Geology* 39, 219-222. Zitiert in Wolf et al. (2012).

RANDALL, M. RIGBY, B. THOMPSON, O. TRIVEDI, D. (2013): Assessment of the effects of cellulose degradation products on the behavior of europium and thorium, NNL (12) 12239 Part A Issue 4, 1-178.

ROUSSEL, N. (2012) *Understanding the rheology of Concrete*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 2012.

SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P., BRÜMMER, G., HARGE, K. H., SCHWERTMANN, U., AUERSWALD, K., BEYER, L., FISCHER, W.R., KÖGEL-KNABNER, I., RENGER, M., STREBEL, O. (1998): *Lehrbuch der Bodenkunde*, Enke Verlag Stuttgart.

SCHOBER, I., ZIMMERMANN, J. (2011): Organische Zusatzmittel in der Bauchemie am Beispiel von Betonverflüssigern, die aktuelle Wochenschau der GdCH – Bauen und Chemie 35/2011. URL: http://archiv.aktuelle-wochenschau.de/druck/2011/wochenschau35_2011.pdf (Stand 18.09.2016)

SMITH V., MAGALHAES S., SCHNEIDER, S. (2013): The Role of PVC Additives in the Potential Formation of NAPLs, AMEC/PPE/2834/001, Didcot, UK, 1-41.

UMWELTBUNDESAMT (2008): Bromierte Flammschutzmittel – Schutzengel mit schlechten Eigenschaften?