

# Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

## Verfahrensunterlage

**Titel:** Endlager Morsleben (ERAM)  
Grundwasserrelevante Aspekte: Radioaktive Abfälle und Braunkohlefilterasche  
(BFA)

**Autor:** Brennecke, P.

**Erscheinungsjahr:** 2007

**Unterlagen-Nr.:** P 258

**Revision:** 00

**Unterlagenteil:**



# KURZFASSUNG

Verfasser: Peter Brennecke

Titel: Grundwasserrelevante Aspekte:  
Radioaktive Abfälle und Braunkohlenfilterasche

Stand: 31.03.2007

Stichworte: Endlager Morsleben, Wasserhaushaltsgesetz (WHG), Grundwasserschutz, Stilllegung, radioaktive Abfälle, Abfallgebinde, Braunkohlenfilterasche, Modellbetrachtungen

Im Rahmen der Arbeiten zum Verfüllen und Verschließen des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist im Hinblick auf die wasserrechtlichen Bestimmungen (Wasserhaushaltsgesetz - WHG, Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt - WG LSA) der Nachweis zu führen, dass durch die endgelagerten bzw. endzulagernden radioaktiven Abfälle/Abfallgebinde einschließlich der Braunkohlenfilterasche und die Baustoffe für die geplanten Verfüll- und Verschließmaßnahmen eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften nicht zu besorgen ist. Die Erteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis für das vorgesehene Verfüllen und Verschließen des ERAM setzt diesen Nachweis voraus.

Die Prüfung und Bewertung einer möglichen Verschmutzung des Grundwassers durch organische und anorganische Stoffe ist mit Hilfe von konservativen Modellbetrachtungen durchgeführt worden. Hierzu wurde die stoffliche Zusammensetzung der organischen und anorganischen nichtradioaktiven Bestandteile der radioaktiven Abfälle/Abfallgebinde und der Braunkohlenfilterasche herangezogen und die Auswirkungen der darin enthaltenen Schadstoffe auf das oberflächennahe Grundwasser untersucht. Dabei wurden die in den radioaktiven Abfällen/Abfallgebänden und der Braunkohlenfilterasche enthaltenen Schadstoffe gemeinsam behandelt. Weitere Untersuchungen galten dem Einfluss der Schadstoffe, die in den Baustoffen für die geplanten Verfüll- und Verschließmaßnahmen enthalten sind.

Im Rahmen der durchgeführten Modellbetrachtungen konnte insbesondere gezeigt werden, dass die Geringfügigkeitsschwellenwerte für das Grundwasser der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), die kleiner als die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung sind, nicht überschritten werden. Mit ihrer Unterschreitung gilt der Gefahrenverdacht in der Regel als ausgeräumt und somit auch die Besorgnis einer schädlichen Verunreinigung des Grundwassers oder einer sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften im Sinne des § 34 Abs. 2 WHG und § 138 Abs. 2 WG LSA, d. h. der gute Zustand des oberflächennahen Grundwassers bleibt erhalten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen betrachteten organischen und anorganischen Stoffe nur in solchen Konzentrationen in das oberflächennahe Grundwasser gelangen können, dass eine Gefahr der Grundwasserbeeinträchtigung nicht zu besorgen ist. Dies bedeutet, dass mit den im Endlager Morsleben vorhandenen radioaktiven Abfällen/Abfallgebänden und der Braunkohlenfilterasche keine Einwirkungen verbunden sind, die schädliche Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit des oberflächennahen Grundwassers herbeiführen.

# INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung .....	2
Inhaltsverzeichnis.....	3
Abkürzungsverzeichnis .....	4
Tabellenverzeichnis .....	5
Anhangverzeichnis.....	6
1 Einleitung .....	7
2 Radioaktive Abfälle und Braunkohlenfilterasche .....	8
2.1 Abfallmengen und Aktivitäten.....	8
2.2 Stoffliche Zusammensetzung.....	9
2.3 Betriebliche und bergbauliche Abfälle.....	10
3 Modellbetrachtung zur möglichen Verschmutzung des oberflächennahen Grundwassers .....	11
3.1 Vorgehensweise.....	11
3.1.1 Annahmen und Randbedingungen.....	12
3.1.2 Verdünnungsfaktoren .....	13
3.1.3 Geringfügigkeitsschwellenwerte und Grenzkonzentrationen .....	14
4 Prüfung und Bewertung einer möglichen Verschmutzung des oberflächennahen Grundwassers.....	16
4.1 Ermittlung von Schadstoffkonzentrationen.....	16
4.1.1 Aufschlüsselung des Schadstoffinventars.....	16
4.1.2 Materialschichtmodell .....	17
4.1.3 Anorganische und organische Schadstoffmassen .....	18
4.1.4 Modellmäßige Berechnung von Schadstoffkonzentrationen .....	19
4.2 Vergleich mit Begrenzungen.....	20
4.3 Bewertung der Ergebnisse .....	22
4.3.1 Titan.....	22
4.3.2 Abbau organischer Schadstoffe .....	23
4.3.3 Bandbreite des Schadstoffinventars.....	25
4.3.4 Berücksichtigung von nichtradioaktiven Abfällen .....	26
4.4 Vergleich mit der natürlichen Grundwasserbelastung .....	26
4.5 Wahrung des wasserrechtlichen Schutzziels.....	27
5 Zusammenfassende Bewertung.....	28
6 Literaturverzeichnis.....	29
Tabellen.....	36
Anhang.....	61

Gesamtseitenzahl: 62

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BFA	Braunkohlenfilterasche
bGZ	bergbauliche Gefahrenabwehrmaßnahme im Zentralteil
BTX	Benzol-, Toluol- und Xylol-Aromaten
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
DOC	gelöster organischer Kohlenstoff – Dissolved Organic Carbon
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure (-acetat)
EG	Europäische Gemeinschaft
ERA	Endlager für radioaktive Abfälle
ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
EU	Europäische Union
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
GAP	Grundwasserschutz bei Abfallverwertung und Produkteinsatz
HEIDA	Hydroxyethyliminoessigsäure (-acetat) – Hydroxyethyliminodiacetic Acid
IDA	Iminodiessigsäure (-acetat) – Iminodiacetic Acid
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LABO	Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
MIDA	Methyliminodiessigsäure (-acetat) – Methyliminodiacetic Acid
NTA	Nitrilotriessigsäure (-acetat)
SOS	suspendierte organische Stoffe
TA	Technische Anleitung
TGL	Technische Güte- und Lieferbedingungen
UTD	Untertagedeponie
WG LSA	Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WHO	World Health Organisation

# TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Anorganische Schadstoffmassen aus den radioaktiven Abfällen/Abfallgebinden und der Braunkohlenfilterasche. ....	36
Tab. 2: Organische Schadstoffmassen aus den radioaktiven Abfällen/Abfallgebinden und der Braunkohlenfilterasche. ....	38
Tab. 3: Löslichkeiten von Elementen und anorganischen Verbindungen in reinem Wasser. ....	39
Tab. 4: Gelöste anorganische Stoffmassen aus den radioaktiven Abfällen/Abfallgebinden und der Braunkohlenfilterasche. ....	41
Tab. 5: Gelöste organische Stoffmassen aus den radioaktiven Abfällen/Abfallgebinden und der Braunkohlenfilterasche. ....	43
Tab. 6: Einlagerungsfeldspezifische Verdünnungsfaktoren (hier: radioaktive Abfälle/Abfallgebinde und Braunkohlenfilterasche). ....	44
Tab. 7: Anorganische Schadstoffe (hier: radioaktive Abfälle/Abfallgebinde und Braunkohlenfilterasche) und ihre modellmäßig berechneten Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser. ....	45
Tab. 8: Organische Schadstoffe (hier: radioaktive Abfälle/Abfallgebinde und Braunkohlenfilterasche) und ihre modellmäßig berechneten Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser. ....	47
Tab. 9: Vergleich von Begrenzungen für anorganische Schadstoffe. ....	48
Tab. 10: Vergleich von Begrenzungen für organische Schadstoffe. ....	50
Tab. 11: Zusätzlich angenommene Begrenzungen für anorganische und organische Schadstoffe. ....	51
Tab. 12: Vergleich von modellmäßig berechneten Konzentrationen anorganischer Schadstoffe im oberflächennahen Grundwasser mit Begrenzungen aus einschlägigen wasserrechtlichen Regelwerken. ....	52
Tab. 13: Vergleich von modellmäßig berechneten Konzentrationen organischer Schadstoffe im oberflächennahen Grundwasser mit Begrenzungen aus einschlägigen wasserrechtlichen Regelwerken. ....	54
Tab. 14: Vergleich von modellmäßig berechneten Referenzwerten Abfälle/BFA und Gesamtkonzentrationen anorganischer Schadstoffe im oberflächennahen Grundwasser mit schadstoffspezifischen Begrenzungen. ....	55
Tab. 15: Vergleich von modellmäßig berechneten Referenzwerten Abfälle/BFA und Gesamtkonzentrationen organischer Stoffe im oberflächennahen Grundwasser mit schadstoffspezifischen Begrenzungen. ....	57
Tab. 16: Vergleich von modellmäßig berechneten Konzentrationen anorganischer Schadstoffe mit gemessenen natürlichen Grundwasserbelastungen in der Allertalzone. ....	58
Tab. 17: Vergleich von modellmäßig berechneten Konzentrationen organischer Schadstoffe mit gemessenen natürlichen Grundwasserbelastungen in der Allertalzone. ....	60

# ANHANGVERZEICHNIS

Anhang 1: Anlage zur Grundwasserverordnung vom 18. März 1997..... 61

ERA  
Morsleben

# 1 EINLEITUNG

Das übergeordnete Ziel bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen ist der Schutz von Mensch und Umwelt. In diesem Zusammenhang stellt das Grundwasser ein besonderes Schutzgut dar; es ist zugleich das wichtigste Transportmedium für Schadstoffe aus einem Endlager in die Biosphäre. Dieses Schutzgut darf durch stoffliche Emissionen aus dem Endlager nicht unzulässig beeinträchtigt werden.

Mit der Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 80/68/EWG des Rates vom 17. Dezember 1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe (Grundwasserverordnung) vom 18.03.1997 [1, 2] werden der Besorgnisgrundsatz des § 34 'Reinhaltung' des Gesetzes zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) und des § 138 'Reinhaltung' des Wassergesetzes für das Land Sachsen-Anhalt (WG LSA) konkretisiert [3, 4]. Nach § 34 Abs. 2 WHG und § 138 Abs. 2 WG LSA dürfen Stoffe nur so gelagert oder abgelagert werden, dass eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften nicht zu besorgen ist. Lagern oder Ablagern im Sinne von § 34 Abs. 2 WHG und § 138 Abs. 2 WG LSA ist ein Lagern zur späteren Weiterverwendung bzw. ein Ablagern zur Entledigung (hier: Endlagerung).

Im Hinblick auf eine umfassende wasserrechtliche Prüfung und die Erteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis entsprechend den Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes, des Wassergesetzes für das Land Sachsen-Anhalt und der Grundwasserverordnung ist der Nachweis zu führen, dass die im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) endgelagerten bzw. endzulagernden radioaktiven Abfälle/Abfallgebilde einschließlich der Braunkohlenfilterasche und die Baustoffe für die Verfüllung von ausgewählten Grubenbauen im Rahmen der bergbaulichen Gefahrenabwehrmaßnahme (bGZ) wie auch für die Verfüll- und Verschlussmaßnahmen (hier: weitgehende Verfüllung von Abbauen der Grubengebäude) zu keiner schädlichen Verunreinigung des Grundwassers oder einer sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften führen.

In der nachfolgenden Untersuchung werden die möglichen Auswirkungen freigesetzter Schadstoffe aus den radioaktiven Abfällen/Abfallgebilden und der Braunkohlenfilterasche auf das oberflächennahe Grundwasser untersucht und bewertet. In Ergänzung hierzu wird in weiteren Untersuchungen dem Einfluss derjenigen Schadstoffe nachgegangen, die in den Baustoffen für die Verfüllung von ausgewählten Grubenbauen im Zentralteil [5] und für die weitgehende Verfüllung von Abbauen im Grubengebäude [6] des ERAM enthalten sind.

Radioaktive Abfälle/Abfallgebilde setzen sich hauptsächlich aus anorganischen und zu einem geringeren Anteil aus organischen nichtradioaktiven Stoffen zusammen, die als Bestandteile des Abfallbehälters, des Fixierungsmittels und des radioaktiven Abfalls auftreten können. Gegenüber den großen Massen dieser Stoffe sind die Massen der in den radioaktiven Abfällen/Abfallgebilden enthaltenen Radionuklide vergleichsweise gering. Um den o. a. Nachweis führen zu können, wird die stoffliche Zusammensetzung der organischen und anorganischen nichtradioaktiven Bestandteile der radioaktiven Abfälle/Abfallgebilde und der Braunkohlenfilterasche ermittelt und bilanziert. In Anlehnung an die Randbedingungen und Vorgaben der radiologischen Langzeitsicherheitsanalyse wird auf dieser Basis die Prüfung und Bewertung einer möglichen Verschmutzung des oberflächennahen Grundwassers durch das Inventar an organischen und anorganischen nichtradioaktiven Schadstoffen durchgeführt. Dabei wird das Ziel verfolgt, aufzuzeigen, ob und welche Auswirkungen mit der Endlagerung von radioaktiven Abfällen/Abfallgebilden im ERAM und der eingebrachten Braunkohlenfilterasche verbunden sind.

Es sei darauf hingewiesen, dass zukünftig Anpassungen und/oder Konkretisierungen im Bereich der Regelungen zum Wasserrecht zu erwarten sind. Gemäß der Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung [7] sind bis spätestens 22. Dezember 2008 Schwellenwerte zur Beurteilung des chemischen Zustandes eines Grundwasserkörpers oder einer Gruppe von Grundwasserkörpern festzulegen. Ferner sind Rechts- und Verwaltungsvorschriften zu erlassen, die erforderlich sind, um dieser Richtlinie spätestens ab dem 16. Januar 2009 nachzukommen.

## 2 RADIOAKTIVE ABFÄLLE UND BRAUNKOHLLEN-FILTERASCHE

Bei der friedlichen Nutzung der Kernenergie und beim Umgang mit Radioisotopen fallen Reststoffe an. Soweit diese nicht schadlos verwertet werden können, müssen sie als radioaktive Abfälle geordnet und sicher beseitigt werden.

In das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wurden insbesondere radioaktive Abfälle verbracht, die

- beim Betrieb von Kernkraftwerken,
- im Bereich von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, und
- bei der Radioisotopenanwendung in Gewerbe, Industrie und Medizin

anfielen.

Die Abfälle, die im ERAM endgelagert sind, stammen zu ca. 90 % aus Kernkraftwerken. Da für das ERAM der Grenzwert für die Aktivitätskonzentration der Alpha-Strahler sehr gering ist ( $4 \cdot 10^8$  Bq/m<sup>3</sup>), beträgt der Anteil der radioaktiven Abfälle aus Forschung, Gewerbe, Industrie, Medizin und von sonstigen Verursachern ca. 10 %. Endgelagert sind feste Abfälle wie Bauschutt, Schrott, Textilien, Filter, Putzwolle, Isoliermaterialien, Armaturen, Rohrleitungen. Weiterhin wurden z. B. kontaminierte Laborabfälle, Anzeigeinstrumente und Marschkompassend gelagert. Flüssige Abfälle wie Filter- und Verdampferkonzentrate sowie Filterharze sind verfestigt worden. Es wurden auch umschlossene Strahlenquellen endgelagert, insbesondere solche mit Beta- und Gamma-Strahlern.

Im ERAM sind je nach Beschaffenheit des Abfalls verschiedene Einlagerungstechniken angewendet worden. Die wichtigsten sind folgende:

- Niedrigradioaktive feste Abfälle wurden in Fässern oder in zylindrischen Betonbehältern in Einlagerungshohlräumen auf der -372 m-Sohle (4. Sohle) gestapelt.
- Niedrig- und mittelradioaktive feste Abfälle sowie umschlossene Strahlenquellen wurden im Südfeld von der -372 m-Sohle (4. Sohle) aus in darunter liegende Hohlräume der -395 m-Sohle (5a-Sohle) verstürzt.
- Ebenfalls im Südfeld von der -372 m-Sohle (4. Sohle) aus wurden niedrigradioaktive flüssige Abfälle in die Abbaue 2 und 3 eingebracht und mit Braunkohlenfilterasche verfestigt.
- Umschlossene Strahlenquellen und geringe Mengen fester mittelradioaktiver Abfälle wurden in sieben Spezialcontainern (Stahlzylinder) mit einem Volumen von je 4 l im Untertage-Messfeld (UMF) in Sohlenbohrlöchern zwischengelagert.
- Weiterhin ist im Ostfeld in einem Sohlenloch in einer abgemauerten Nische ein 280-l-Fass mit Ra-226-Abfällen in einem Betonbehälter zwischengelagert.

### 2.1 ABFALLMENGEN UND AKTIVITÄTEN

Die Endlagerung radioaktiver Abfälle im ERAM erfolgte in den beiden Zeiträumen vom Dezember 1971 bis zum Februar 1991 und vom Januar 1994 bis zum September 1998.

Im Einlagerungszeitraum 1971 - 1991 wurden 6.174 m<sup>3</sup> feste radioaktive Abfälle, 8.258 m<sup>3</sup> flüssige radioaktive Abfälle und 6.223 Stück ausgediente umschlossene Strahlenquellen endgelagert. Die flüssigen Abfälle wurden mit Braunkohlenfilterasche verfestigt. Das Volumen der Strahlenquellen ist insgesamt sehr gering und kann gegenüber dem Volumen der festen und flüssigen radioaktiven Abfälle vernachlässigt werden. Die Gesamtaktivität beträgt  $7,7 \cdot 10^{13}$  Bq (Bezugsdatum: 30.06.2005) [8, 9].



Im Rahmen des Einlagerungszeitraums 1971-1991 wurden 1983 und 1990 radioaktive Abfälle mit vergleichsweise hohen Aktivitäten in das ERAM verbracht. Diese Abfälle (hier: Radiumabfälle, ausgediente umschlossene Strahlenquellen und Abfälle aus der Strahlenquellenproduktion) werden seitdem im ERAM zwischengelagert [10]. Ihre Gesamtaktivität beläuft sich auf etwa  $3,9 \cdot 10^{14}$  Bq (Bezugsdatum: 30.06.2005); davon entfallen etwa  $3,7 \cdot 10^{11}$  Bq auf die Aktivität des langlebigen Radionuklids Ra-226. Es ist beabsichtigt, dass im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für die Stilllegung des ERAM die sichere Endlagerung der zwischenlagernden Abfälle festgestellt wird.

Im Einlagerungszeitraum 1994 - 1998 wurden 22.320 m<sup>3</sup> feste radioaktive Abfälle/Abfallgebinde und 394 Stück ausgediente umschlossene Strahlenquellen endgelagert. Das Volumen der Strahlenquellen beträgt insgesamt weniger als 0,1 m<sup>3</sup> und kann gegenüber dem Volumen von 22.320 m<sup>3</sup> vernachlässigt werden. Die Gesamtaktivität beläuft sich auf  $9,1 \cdot 10^{13}$  Bq; davon entfallen  $8,1 \cdot 10^{10}$  Bq auf die Aktivität von Alpha-Strahlern und  $9,1 \cdot 10^{13}$  Bq auf die Aktivität von Beta/Gamma-Strahlern (dokumentierte Aktivität) [11].

In den Unterlagen [8-12] werden die im ERAM vorhandenen radioaktiven Abfälle hinsichtlich Herkunft, Abfallarten, Abfallmengen und Radionuklidinventaren ausführlich und umfassend beschrieben.

## 2.2 STOFFLICHE ZUSAMMENSETZUNG

Radioaktive Abfälle/Abfallgebinde setzen sich überwiegend aus einer Vielzahl von anorganischen und organischen nichtradioaktiven Stoffen zusammen. Um eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften prüfen und bewerten zu können, müssen Angaben über die stoffliche Zusammensetzung der in das ERAM verbrachten radioaktiven Abfälle herangezogen werden.

Die Ermittlung der erforderlichen Basisdaten erfolgte überwiegend im Rahmen einer Bestandsaufnahme bei den Ablieferungspflichtigen [13, 14]. Aus Gründen der Transparenz und Eindeutigkeit wurde bei der Ermittlung der Basisdaten zwischen solchen Stoffanteilen unterschieden, die dem eigentlichen radioaktiven Abfall, dem verwendeten Fixierungsmittel und den Abfallbehältern bzw. Verpackungen zuzuordnen sind.

In Ergänzung dazu wurde die zur Verfestigung von flüssigen radioaktiven Abfällen und zu Versatzzwecken verwendete Braunkohlenfilterasche berücksichtigt und in entsprechender Weise in das Gesamtstoffinventar aufgenommen.

Die Erfassung der stofflichen Bestandteile führte zu folgenden Ergebnissen:

Der Anteil anorganischer Stoffe an der Gesamtmasse der in das ERAM eingebrachten radioaktiven Abfälle einschließlich der Braunkohlenfilterasche beträgt etwa  $7,59 \cdot 10^4$  Mg (92,6 Massen-%). In dieser Masse sind auch anorganische chemotoxische Stoffe enthalten.

Der Anteil organischer Stoffe an der Gesamtmasse der in das ERAM eingebrachten radioaktiven Abfälle einschließlich der Braunkohlenfilterasche beträgt etwa  $6,08 \cdot 10^3$  Mg (7,4 Massen-%). In dieser Masse sind auch organische chemotoxische Stoffe enthalten.

Die Gesamtmasse der anorganischen und organischen Stoffe, die in den radioaktiven Abfällen/Abfallgebinden und der Braunkohlenfilterasche enthalten sind, beläuft sich damit auf etwa  $8,20 \cdot 10^4$  Mg. Der Anteil der Braunkohlenfilterasche an dieser Masse beträgt etwa  $3,40 \cdot 10^4$  Mg (41,5 Massen-%).

Die Aufschlüsselung der in den radioaktiven Abfällen/Abfallgebinden und der Braunkohlenfilterasche enthaltenen anorganischen und organischen Schadstoffe nach Elementen und Verbindungen, die für die Prüfung und Bewertung einer möglichen Verschmutzung des oberflächennahen Grundwassers oder einer nachteiligen Beeinträchtigung seiner Eigenschaften von Bedeutung sind, wird in Kap. 4.1 dargestellt.

## 2.3 BETRIEBLICHE UND BERGBAULICHE ABFÄLLE

Im ERAM fallen in den ersten Jahren der Stilllegung flüssige und feste betriebliche radioaktive Reststoffe an, die im ERAM als Abfall im Bereich der 4. Sohle (-372 m-Sohle) endgelagert werden, soweit sie nicht extern entsorgt werden. Zu diesen Reststoffen zählen insbesondere feste Mischabfälle (bis zu  $50 \text{ m}^3$ ) und metallischer Schrott (bis zu  $180 \text{ m}^3$ ). Die Aktivitäten dieser flüssigen und festen Abfälle sind in den Aktivitätsangaben der endgelagerten radioaktiven Abfälle mit enthalten.

Wässrige Flüssigkeiten einschließlich der Rückstellproben aus dem Laboratoriumsbereich werden konditioniert und endgelagert. Kontaminierte feste Mischabfälle, Bauschutt, metallischer Schrott und ggf. einige Strahlenquellen werden ebenfalls im ERAM endgelagert.

Im ERAM befinden sich weitere nichtradioaktive Abfälle, deren Rückholung nicht vorgesehen bzw. nicht möglich ist. Es handelt sich sowohl um betriebliche als auch um bergbauliche Abfälle. Beispiele für betriebliche Abfälle sind Altbehälter, Handlungseinrichtungen aus den Einlagerungsbereichen, Lüfter, Rohre, Einrichtungsgegenstände der Zentralwerkstatt und Fahrzeuge. Beispiele für bergbauliche Abfälle sind Schienen, Schwellen, Maschinen, Seile und Kabel. An diesen Abfällen haben Metalle (Eisen, Stahl, Zink, Kupfer) einen Anteil von etwa  $2,56 \cdot 10^6 \text{ kg}$ , während der Anteil von Organika (Papier, Pappe, zellulosehaltige Stoffe, Holz) mit etwa  $5,80 \cdot 10^5 \text{ kg}$  abgeschätzt wird [15].

Im Zuge der Stilllegung werden Bau- und Abbruchabfälle sowie metallischer Schrott in einer Menge von ca.  $3,50 \cdot 10^5 \text{ kg/a}$  anfallen. Neben den Einlagerungsbereichen werden auch weitere Hohlräume betrachtet. Es wird abgeschätzt, dass es sich insgesamt um ca.  $4,54 \cdot 10^6 \text{ kg}$  Materialien handelt.

### **3 MODELLBETRACHTUNG ZUR MÖGLICHEN VERSCHMUTZUNG DES OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWASSERS**

Die Ausbreitung von Schadstoffen aus einem Endlager in tiefen geologischen Formationen in der Nachbetriebsphase erfolgt insbesondere über den Wasserpfad. Die Prüfung und Bewertung einer möglichen Verschmutzung des oberflächennahen Grundwassers wird mit Hilfe einer Modellbetrachtung vorgenommen; die hier zugrunde gelegten Vorstellungen werden nachfolgend erläutert.

#### **3.1 VORGEHENSWEISE**

Die im ERAM endzulagernden bzw. endgelagerten radioaktiven Abfälle/Abfallgebinde einschließlich der Braunkohlenfilterasche setzen sich aus einer Vielzahl von anorganischen und organischen Stoffbestandteilen (Elemente, Verbindungen) zusammen. Ein Zutritt von Salzlösungen in der Nachbetriebsphase führt zu Auslaugungs- und Korrosionsprozessen, denen die Freisetzung von Schadstoffen wie auch verschiedenartigste Wechselwirkungsreaktionen zwischen den ausgelaugten und korrodierten Spezies folgen. Die zugetretenen Salzlösungen setzen sich mit den radioaktiven Abfällen/Abfallgebänden und der Braunkohlenfilterasche um und sättigen sich langsam mit den freigesetzten Schadstoffen auf. Dieser Vorgang kann sich so lange fortsetzen, bis alles umgesetzt oder die entstehende Lösung gesättigt ist, d. h. Löslichkeitsgrenzen erreicht worden sind. Damit handelt es sich um ein sehr komplexes System, dessen mögliche Auswirkungen auf das oberflächennahe Grundwasser zu untersuchen und zu bewerten sind.

Bei Berücksichtigung der Herkunft der radioaktiven Abfälle, der unterschiedlichen Abfallarten, der Heterogenität ihrer chemisch-stofflichen Zusammensetzung, der gewählten Behandlung bzw. Verarbeitung (z. B. mit oder ohne Verwendung eines Fixierungsmittels) und der jeweiligen Abfallbehälter/Verpackungen ist es außerordentlich schwierig, belastbare Angaben über repräsentative Freisetzungen von nichtradioaktiven Bestandteilen aus den im ERAM insgesamt vorhandenen radioaktiven Abfällen/Abfallgebänden und der Braunkohlenfilterasche zu machen (Modellierung des chemischen Quellterms). Dies wird zusätzlich dadurch erschwert, da zur Abbildung der tatsächlichen Verhältnisse auch mögliche Wechselwirkungsreaktionen und die daraus resultierenden Reaktionsprodukte einschließlich von Folgereaktionen berücksichtigt werden müssen. Auch wurden bisher keine Untersuchungen mit einer solchen Zielsetzung durchgeführt, d. h. es stehen keine diesbezüglichen Ergebnisse für sicherheitsanalytische Betrachtungen und Bewertungen im hierfür benötigten Umfang und Detaillierungsgrad zur Verfügung, noch können die erforderlichen Daten aufgrund der Komplexität des Gesamtsystems belastbar prognostiziert werden. Ersatzweise könnte z. B. im Einzelfall auf Daten zurückgegriffen werden, die bisher nur für wenige ausgewählte Schwermetalle hinsichtlich der Entsorgung von konventionellen Abfällen oder Sonderabfällen in Untertagedeponien experimentell ermittelt und von geochemischen Modellrechnungen begleitet wurden [16, 17, 18]. Hier ist allerdings zu bedenken, dass die Erforschung der Eigenschaften von chemotoxischen Stoffen in salinaren Lösungen erst am Anfang steht.

Vor diesem Hintergrund wird der Frage, ob eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften zu besorgen ist, in Form einer Modellbetrachtung nachgegangen. Dabei wird der Ansatz verfolgt, eine Untersuchung mit auf der sicheren Seite liegenden Annahmen und Randbedingungen durchzuführen. Wenn bereits mit einer solchen als "abdeckend" anzusehenden Betrachtung die Einhaltung des wasserrechtlichen Schutzziels aufgezeigt werden kann, muss nicht zwingend auf realitätsnähere Modelle und Rechnungen zurückgegriffen werden. Die hier gewählte Vorgehensweise unterscheidet sich deutlich von einer geochemischen Modellierung und erhebt auch keine diesbezüglichen Ansprüche.

Die Modellbetrachtung ist konkret auf einen Vergleich von Schadstoffkonzentrationen ausgerichtet. Es werden die Konzentrationen der organischen und anorganischen Stoffe (hier: radioaktive Abfälle/Abfallgebinde, Braunkohlenfilterasche), die sich nach Auflösung und Austritt der mit ihnen belasteten Salzlösungen aus den

Grubengebäuden unter Berücksichtigung der Verdünnung im oberflächennahen Grundwasser einstellen, mit Konzentrationsbegrenzungen für chemische Elemente und organische bzw. anorganische Verbindungen aus einschlägigen wasserrechtlichen Regelwerken verglichen.

Im Einzelnen wird wie folgt vorgegangen:

- Es wird von einem Volumen der endgelagerten bzw. endzulagernden Abfälle/Abfallgebilde von  $36.752 \text{ m}^3$  und einer Masse der eingebrachten Braunkohlenfilterasche von  $3,40 \cdot 10^4 \text{ Mg}$  ausgegangen.
- Im Rahmen der Betrachtungen zu den radioaktiven Abfällen/Abfallgebilden und der Braunkohlenfilterasche werden deren Auflösung unter Berücksichtigung von Löslichkeitsgrenzen modellmäßig unterstellt und die sich daraus ergebenden Konzentrationen der organischen und anorganischen Stoffe getrennt für die verschiedenen Einlagerungsbereiche bestimmt. Mit einlagerungsfeldspezifischen Verdünnungsfaktoren werden dann die sich im oberflächennahen Grundwasser einstellenden Schadstoffkonzentrationen berechnet (löslichkeitsbestimmter Ansatz).
- Für die Bewertung der modellmäßig berechneten Konzentrationen organischer und anorganischer Schadstoffe im oberflächennahen Grundwasser werden als Maßstab die in einschlägigen Verordnungen, Regelwerken und Empfehlungen enthaltenen Begrenzungen herangezogen.

Es sei darauf hingewiesen, dass mit der modellmäßig getroffenen Annahme einer Auflösung der radioaktiven Abfälle/Abfallgebilde und der Braunkohlenfilterasche unter Berücksichtigung von Löslichkeitsgrenzen die ungünstigste hypothetische Ausgangssituation gewählt wurde und damit ein sicherheitstechnisch konservativer Ansatz verfolgt wird.

### 3.1.1 Annahmen und Randbedingungen

Nach der o. a. Vorgehensweise werden die Modellbetrachtungen zu einer schädlichen Verunreinigung des oberflächennahen Grundwassers oder einer sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften unter folgenden Annahmen bzw. Randbedingungen durchgeführt:

- Es werden die Freisetzung des gesamten Schadstoffinventars aus dem Endlager in das oberflächennahe Grundwasser untersucht und die sich ergebenden Auswirkungen ermittelt.
- Die Betrachtungen lehnen sich an die radiologische Sicherheitsanalyse für die Nachbetriebsphase des Endlagers Morsleben an und werden in Anlehnung an die hier getroffenen Randbedingungen und Vorgaben durchgeführt.
- Fällungs- und Flockungsreaktionen, die bei den beteiligten Reaktionspartnern im chemischen Milieu der Grubengebäude, während des Transportes durch die Geosphäre und im oberflächennahen Grundwasser zu deutlichen Konzentrationsabnahmen der gelösten Schadstoffe aufgrund der Bildung von schwerlöslichen oder unlöslichen Reaktionsprodukten führen können, werden nicht berücksichtigt. Andererseits werden auch keine Reaktionen berücksichtigt, die zu Konzentrationserhöhungen aufgrund der Bildung von leichtlöslichen Reaktionsprodukten führen können. pH-Wert-, Temperatur- und Zeitabhängigkeiten werden ebenfalls vernachlässigt.
- Der Abbau organischer chemotoxischer Abfall-/Abfallgebildebestandteile wird nicht berücksichtigt.
- Die Modellbetrachtungen werden so geführt, als seien die einzelnen Schadstoffe jeweils allein gelöst. Löslichkeitsherabsetzungen oder -heraufsetzungen (Aussalz- bzw. Einzalzeffekte) und Wechselwirkungen aufgrund des tatsächlich vorhandenen Vielstoff- bzw. Vielkomponentensystems werden nicht berücksichtigt. Dieser Ansatz steht im Einklang mit der Vorgehensweise bei der Festlegung von Grenzwerten für Trinkwasser. Auch dort werden stets nur Einzelsysteme untersucht, so dass Auswirkungen mehrerer Stoffe nicht erfasst sind. Eine Untersuchung aller möglicher Kombinationen erscheint weder möglich noch vom Aufwand her gesehen vertretbar zu sein; Kombinationen wird im Allgemeinen kein höheres toxisches Potenzial zugemessen als den Einzelkomponenten [19].

- Für die gelösten anorganischen und organischen Schadstoffe wird für ihren Transport aus den Grubengebäuden und durch die Geosphäre keine Rückhaltung durch Sorptionsvorgänge an den technischen Barrieren und an den Gesteinen unterstellt, d. h. es wird insbesondere kein Kredit von der Rückhaltewirkung der geologischen Barriere und des Deckgebirges genommen. Konzentrationsabnahmen, die hier unter tatsächlichen Bedingungen zu erwarten sind, werden damit von den Betrachtungen ausgeschlossen.

### 3.1.2 Verdünnungsfaktoren

In der Nachbetriebsphase des ERAM werden sich die Resthohlräume in den Einlagerungsfeldern und den restlichen Grubengebäuden mit Salzlösungen füllen. Die mit Lösung gefüllten Resthohlräume in den Grubengebäuden unterliegen der Konvergenz, die zu einem Auspressen der Lösungen führt. Die schadstoffhaltigen Lösungen aus den Einlagerungsfeldern mischen sich beim Übertritt in das Hutgestein mit der gleichzeitig aus der Restgrube ausgepressten unkontaminierten Lösung. Nach ihrem Austreten aus der Salzstruktur gelangen die Lösungen durch das Deckgebirge schließlich in den Bereich des oberflächennahen Grundwassers, wo ihre Vermischung mit bzw. Verteilung in dem sich dort bewegenden Volumenstrom von  $25.000 \text{ m}^3/\text{a}$  erfolgt [20].

Bei der Ableitung der Verdünnungsfaktoren wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- Der in den Grubenräumen noch vorhandene Hohlraum ist lösungsgefüllt.
- Bei der Auffüllung der Grubengebäude mit Lösung tritt aus dem Deckgebirge Süßwasser zu. Es finden Hohlraumvergrößerungen auf Grund der Aufsättigung dieser Lösung an Steinsalz und auf Grund von Umlöseprozessen am Carnallit ausschließlich außerhalb der abgedichteten Einlagerungsbereiche statt.
- Es wird angenommen, dass die eingebrachten Baustoffe zum Verfüllen und Verschließen des ERAM lösungs gesättigt sind. Das Porenvolumen des Altversatzes ist lösungszugänglich und trägt damit zur Hohlraumbilanz bei.
- Damit ist das zur Ermittlung einer maximalen Auspressrate zu Grunde zu legende Hohlraumvolumen in den Grubengebäuden konservativ abgeschätzt.
- Als Konvergenzrate wird die für den Zentralteil der Grube Bartensleben ermittelte Konvergenzrate zu Grunde gelegt. Ein sich einstellender Stützdruck der Lösung wird berücksichtigt, nicht berücksichtigt wird die zusätzliche Stützwirkung des Versatzes.
- Die Abschätzung des sich im oberflächennahen Grundwasser bewegenden Volumenstroms erfolgt aus den durchgeführten Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung im Deckgebirge im Bereich des ERAM.

Den Ausgangspunkt für die modellmäßige Berechnung der Schadstoffkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser, die aus der unterstellten Auflösung der eingebrachten Abfälle/Abfallgebände und der Braunkohlenfilterasche unter Berücksichtigung von Löslichkeitsgrenzen in den Grubengebäuden resultieren, bildet die in jedem Einlagerungsfeld theoretisch mögliche Konzentration der anorganischen und organischen Stoffe. Diese Konzentration wird durch Art und Menge des jeweils eingebrachten Einlagerungsgutes bestimmt und ist damit spezifisch von den jeweiligen Einlagerungsfeldern abhängig. Für den sich anschließenden Austritt der mit anorganischen und organischen Stoffen belasteten Salzlösungen aus den Grubengebäuden und deren Transport durch die Geosphäre bis in das oberflächennahe Grundwasser kann auf einlagerungsfeldspezifische Verdünnungsfaktoren zurückgegriffen werden [20]. Diese Faktoren sind im Rahmen der sicherheitsanalytischen Arbeiten für die Nachbetriebsphase des ERAM abgeleitet worden und können für die Ermittlung der Schadstoffkonzentrationen herangezogen werden. Sie liegen im Bereich zwischen  $7,1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^{-3}$  und  $1,1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^{-3}$ . Danach bedeutet z. B. der für das West-/Südfeld angegebene Verdünnungsfaktor von  $3,5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^{-3}$ , dass ein Inventar von 100 kg eines Schadstoffs im West-/Südfeld zu einer maximalen Konzentration von  $3,5 \cdot 10^{-9} \text{ kg/m}^3 = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ mg/l}$  im oberflächennahen Grundwasser führen kann.

### 3.1.3 Geringfügigkeitsschwellenwerte und Grenzkonzentrationen

Nach § 34 Abs. 2 WHG und § 138 Abs. 2 WG LSA dürfen Stoffe nur so gelagert oder abgelagert werden, dass eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften nicht zu besorgen ist. Dieser immissionsbezogene Besorgnisgrundsatz stellt das wasserrechtliche Schutzziel dar. Besorgnis bedeutet hier, dass selbst eine geringe, allerdings nicht definierte Wahrscheinlichkeit einer solchen Verunreinigung oder Veränderung der Grundwassereigenschaften ausgeschlossen werden soll. Der Besorgnisgrundsatz ist ein Instrument der Vorsorge. Er gilt unabhängig davon, ob das Grundwasser genutzt wird, prinzipiell nutzbar ist oder nicht genutzt wird. Der Zeitraum, für den diese Vorsorge gilt, ist nicht befristet.

Aus wasserrechtlicher Sicht liegt damit eine sehr strenge, zeitlich unbegrenzte und zugleich unbestimmte Anforderung vor. In beiden Gesetzen [3, 4] wird nicht weiter ausgeführt, wie die verwendeten konkreten Begriffe der "schädlichen Verunreinigung" und der "nachteiligen Veränderung" des Grundwasserzustandes ausgelegt werden müssen. Durch die in der Anlage zur Grundwasserverordnung [2], Listen I und II, genannten Stofffamilien und Stoffgruppen (Anhang 1) werden die beiden o. a. Begriffe fachlich näher bestimmt. Je nach Inventar bzw. Konzentration können die hier genannten Stoffe zu einer "schädlichen Verunreinigung" bzw. zu einer "nachteiligen Veränderung" des Grundwasserzustandes beitragen oder diese verursachen; daher müssen durch sie bedingte Auswirkungen auf das Grundwasser geprüft und bewertet werden. Hierzu sind jedoch keine diesbezüglichen Ausführungsbestimmungen (z. B. Verwaltungsvorschriften oder Richtlinien) erlassen worden, in denen die Vorgehensweise zum Nachweis der Einhaltung des o. a. Schutzzieles festgelegt ist. Auch gibt es für die Bewertung von Beeinträchtigungen des Grundwassers keine unmittelbar geltenden, rechtlich verbindlichen Grenz- oder Richtwerte als Maßstab, die den besonderen Gegebenheiten der Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Rechnung tragen. Die hier vom Einlagerungsbereich ausgehenden möglichen Schadstoffeinträge sind wasserrechtlich bisher nicht geregelt worden.

Vor diesem Hintergrund können daher nur Maßstäbe herangezogen werden, die von der Sache her grundsätzlich geeignet sind, die im Einzelfall unter Berücksichtigung der standortspezifischen Gegebenheiten zu erwartenden "schädlichen Verunreinigungen" bzw. "nachteiligen Veränderungen" des Grundwassers zu konkretisieren und etwaige Beeinträchtigungen zu bewerten. Solche Maßstäbe liegen für Wasserkörper vor, die insbesondere für die Trinkwasserentnahme genutzt werden (in der vorliegenden Unterlage als "oberflächennahes Grundwasser" bezeichnet). Da Grundwasser eine wertvolle natürliche Ressource ist, muss sie für grundwasserabhängige Ökosysteme und im Hinblick auf die Versorgung mit Wasser für den menschlichen Gebrauch geschützt werden. Als einschlägige Maßstäbe werden die in den nachfolgend genannten Regelwerken enthaltenen quantitativen Begrenzungen herangezogen:

- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)  
"Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser" [21],
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung  
"Bewertungskriterien für die Beurteilung von Grundwasserverunreinigungen in Berlin (Berliner Liste 2005)" [22],
- "Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001" [23], und
- DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.  
"Eignung von Fließgewässern für die Trinkwasserversorgung" [24].

Von diesen Regelwerken hat die Unterlage der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) unmittelbaren Bezug zum Grundwasser, und zwar im Zusammenhang mit der Beurteilung von lokal begrenzten Schadstoffeinträgen. Die hier betrachteten Einträge in das Grundwasser erfolgen dabei entweder über die ungesättigte Zone (Sickerwasser) oder über die gesättigte Zone (Kontaktgrundwasser) [25, 26]. Die Geringfügigkeitsschwellenwerte definieren die schädliche bzw. nachteilige Veränderung des Grundwassers und bei ihrem Überschreiten einen Grundwasserschaden. Weiterhin hat die Berliner Liste 2005 Bezug zum Grundwasser; sie hat die Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA übernommen. Die Trinkwasserverordnung ist in Verbindung mit einer Nutzung des Grundwassers für die Trinkwassergewinnung gleichwohl für die Bewer-

tung der Grundwasserqualität geeignet, gilt jedoch streng genommen nur für bereits aufbereitetes Reinwasser. Die DVGW-Unterlage stellt eine Orientierung für den Gewässerschutz an Fließgewässern dar, die zur Trinkwasserversorgung genutzt werden. Aufgrund des damit gegebenen Bezugs zur Trinkwasserverordnung können die in ihr enthaltenen Begrenzungen grundsätzlich auch für eine Grundwasserbewertung herangezogen werden. In diesem Zusammenhang sei angemerkt, dass das Merkblatt W 251 des DVGW-Regelwerks in der Regel kleinere Grenzkonzentrationen - insbesondere in Form von Normalanforderungen - im Vergleich zu den Grenzwerten aus der Trinkwasserverordnung enthält.

Um die Einhaltung des Schutzzieles gemäß § 34 Abs. 2 WHG und § 138 Abs. 2 WG LSA nachweisen zu können, werden gemäß den o. a. Ausführungen die unbestimmten Rechtsbegriffe "schädliche Verunreinigung" und "nachteilige Veränderung" in Ermangelung diesbezüglich verbindlicher Regelungen dahingehend ausgelegt, dass keine diesbezüglichen Auswirkungen auf das oberflächennahe Grundwasser zu besorgen sind, wenn die von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) festgelegten Geringfügigkeitsschwellenwerte (die sich auch in der Berliner Liste 2005 widerspiegeln), die in der Trinkwasserverordnung angegebenen Grenzwerte und die Normalanforderungen aus der Technischen Mitteilung, Merkblatt W 251 des DVGW-Regelwerks eingehalten werden. Diesem Ansatz wird nachfolgend der Vorzug im Vergleich zu einer Einzelfallbetrachtung/-entscheidung gegeben, in deren Rahmen auch Abwägungs- und Verhältnismäßigkeitsgesichtspunkte zu berücksichtigen wären.

Die Verwendung der Begrenzungen aus diesen Regelwerken entspricht Artikel 11 vi) des Gemeinsamen Übereinkommens vom 05. September 1997 über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle, das am 01. Oktober 1997 von der Bundesrepublik Deutschland unterzeichnet wurde [27]. Danach sind Handlungen zu vermeiden, deren vernünftigerweise vorhersehbare Auswirkungen auf zukünftige Generationen größer sind als die für die heutige Generation zulässigen. Bezogen auf das Schutzgut Grundwasser bedeutet dies, dass etwaige Auswirkungen auf das oberflächennahe Grundwasser, die von einem Endlager in tiefen geologischen Formationen ausgehen, heutigen Maßstäben entsprechen müssen.

Der Vergleich und die Bewertung der Schadstoffkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser, die gemäß den Annahmen und Randbedingungen aus Kap. 3.1.1 und 3.1.2 modellmäßig berechnet werden, erfolgt jeweils unter Heranziehung des restriktivsten Wertes aus [20, 21, 22, 23]. Hierauf wird ausführlicher in Kap. 4.2 eingegangen. Diese Vorgehensweise ist zwar nicht zwingend erforderlich, kann aber als ein Beitrag zum Nachweis eines guten Grundwasserzustandes im Sinne des Bewirtschaftungszieles für das Grundwasser gemäß § 33 a Abs. 1 Nr. 1 und 4 des Siebten Gesetzes zur Änderung des Wasserhaushaltsgesetzes [28] verstanden werden. In Bezug auf § 33 a Abs. 1 Nr. 2 dieses Gesetzes bleibt festzuhalten, dass mit einem guten Grundwasserzustand kein signifikanter und anhaltender Trend ansteigender Schadstoffkonzentrationen auf Grund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten vorliegt (Anmerkung: Das Siebte Gesetz zur Änderung des Wasserhaushaltsgesetzes dient der Umsetzung der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik [29]).

## 4 PRÜFUNG UND BEWERTUNG EINER MÖGLICHEN VERSCHMUTZUNG DES OBERFLÄCHENNAHEN GRUNDWASSERS

Die Untersuchung möglicher Auswirkungen, die von den radioaktiven Abfällen/Abfallgebinden und der Braunkohlenfilterasche auf das oberflächennahe Grundwasser ausgehen können, beruht auf einem Vergleich von Schadstoffkonzentrationen, die einerseits unter theoretischen Annahmen modellmäßig berechnet und andererseits als Maßstab einschlägigen Verordnungen, Regelwerken und Empfehlungen aus dem Bereich des Wasserrechts entnommen werden.

### 4.1 ERMITTLUNG VON SCHADSTOFFKONZENTRATIONEN

#### 4.1.1 Aufschlüsselung des Schadstoffinventars

In den Regelwerken, die zur Bewertung etwaiger Beeinträchtigungen des oberflächennahen Grundwassers dienen (Kap. 3.1.3), sind anorganische und organische Schadstoffe als Elemente und Verbindungen mit ihren jeweiligen Begrenzungen einzeln aufgeführt. Um einen Vergleich mit den hier genannten schadstoffspezifischen Konzentrationen durchführen zu können, muss das gesamte im ERAM vorhandene Schadstoffinventar detailliert aufgeschlüsselt, in Stoffgruppen zusammengefasst und schließlich gemäß den in [21, 22, 23, 24] angegebenen Elementen und Verbindungen zusammengeführt und bilanziert werden. Hierbei ist die Grundwasserverordnung [2] zu beachten, und zwar insbesondere die in den Listen I und II angegebenen Stofffamilien und Stoffgruppen (Anhang). Sie enthalten diejenigen anorganischen und organischen Schadstoffe, die aus wasserrechtlicher Sicht von Bedeutung sind und deren Vorhandensein im Abfallinventar geprüft werden muss. Sofern dies der Fall ist, sind die möglichen Auswirkungen auf das oberflächennahe Grundwasser zu untersuchen und zu bewerten.

Die wesentliche Grundlage für eine solche Aufbereitung des Schadstoffinventars bilden die in [13, 14] zusammengestellten Angaben und Daten. Das hier beschriebene Inventar ist vollständig in Materialien, Komponenten (auch Verbindungen) und Elemente zu zerlegen. Aus Gründen der Transparenz und Eindeutigkeit wird dabei zwischen solchen Stoffanteilen unterschieden, die

- dem eigentlichen radioaktiven Abfall,
- den verwendeten Fixierungsmitteln, und
- den Abfallbehältern bzw. Verpackungen

zuzuordnen sind. Zum Schadstoffinventar ist auch die als Versatz- und Verfüllmaterial verwendete Braunkohlenfilterasche zu rechnen. Die für die in situ-Verfestigung flüssiger radioaktiver Abfälle eingesetzte Braunkohlenfilterasche wird bei den Fixierungsmitteln berücksichtigt.

Im Hinblick auf die chemische Aufschlüsselung des Schadstoffinventars werden die auf Abfall, Fixierungsmittel und Abfallbehälter/Verpackung entfallenden stofflichen Anteile gemäß des "Zwiebelschalenprinzips" in drei Bearbeitungsschritten systematisch erfasst. Diese Schritte umfassen:

- das Material (Stoffgruppe), z. B. Bauschutt (anorganischer Abfall) oder Kugelharze (organischer Abfall),
- die Komponenten (auch Verbindungen), z. B. für das Material Bauschutt ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  usw.) oder für das Material Kugelharze (Polystyrol, Porenwasser usw.), und
- die chemischen Elemente aus den Komponenten für das Material Bauschutt (Si, Ca, Al, O, H usw.) oder für das Material Kugelharze (C, H, O, N, S usw.).



In jedem einzelnen Material wurde nach den darin enthaltenen anorganischen und organischen Komponenten und daraus abgeleitet den betreffenden Elementen und Verbindungen unterschieden, so dass auf diesem Wege im Abfallinventar die jeweiligen Anteile der radioaktiven Abfälle, der Fixierungsmittel und der Abfallbehälter/Verpackungen ermittelt werden konnten.

Um diese sehr detaillierte Charakterisierung des Abfallinventars vornehmen zu können, hatte es sich als notwendig erwiesen, über den Umfang der in [13, 14] enthaltenen Angaben und Daten hinaus weitere Informationen von den Abfallverursachern einzuholen sowie umfangreiche Literaturrecherchen und -auswertungen vorzunehmen. Fehlende Angaben wurden durch Vergleich mit einschlägigen Unterlagen wie Materialkennblättern und/oder durch plausible Annahmen ergänzt.

## 4.1.2 Materialschichtmodell

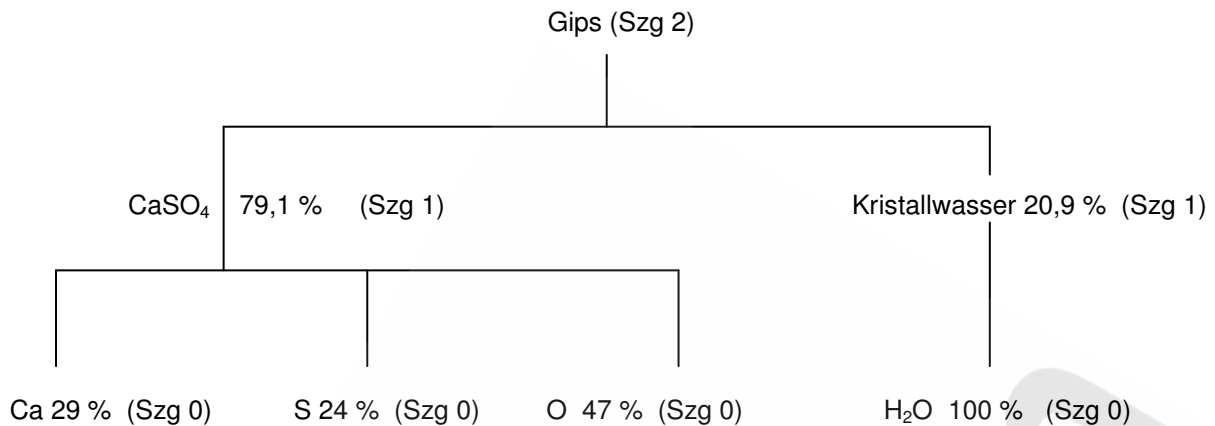
Bei den radioaktiven Abfällen werden neben einfachen Beschreibungen mit eindeutig zu interpretierenden Begriffen auch Beschreibungen verwendet, die eine Mischung aus mehreren Materialien beinhalten wie z. B. Mischabfälle. Derartige Abfälle enthalten verschiedene Bestandteile (z. B. Kunststoffe), die ihrerseits wiederum aus verschiedenen Materialien bestehen (z. B. Polyvinylchlorid, Polyethylen). Dies kann zu komplizierten Materialabhängigkeiten und damit ggf. zu Ungenauigkeiten bei der Aufschlüsselung des Abfallinventars führen. Zudem stellt sich die (beispielhafte) Frage, wie die chemische Zusammensetzung eines Materials dargestellt werden soll: enthält der Mischabfall nun 25 % Kunststoffe oder 15 % Polyvinylchlorid, 5 % Polyethylen und 5 % Polypropylen?

Ferner ist bei der detaillierten Beschreibung des Abfallinventars zu beachten, dass es sich bei den Materialien um technische Produkte handelt, die neben den Hauptbestandteilen je nach Einsatz- und Verwendungszweck z. B. Legierungsbestandteile (bei nichtrostenden Edelstählen), Spurenelemente (bei Baustählen, nichtrostenden Edelstählen und zementhaltigen Materialien), Verunreinigungen und/oder Zusätze bzw. inerte Füllstoffe (bei Kunststoffen) oder Additive (bei waschaktiven Substanzen/Tensiden) enthalten können.

Um eine eindeutige Darstellungsweise der Materialien ohne Informationsverluste zu erreichen, Datenkonsistenz bei den Materialzusammensetzungen und -abhängigkeiten zu gewährleisten und um die Inventare einzelner Materialien korrekt berechnen und interpretieren zu können, ist das Materialschichtmodell eingeführt worden.

Nach diesem Modell können Materialien bzw. Abfallbestandteile bis auf die Stufe Elemente zerlegt werden. Elemente gehören zur Schicht 0. Materialien und Komponenten, die noch in Elemente zerlegt werden können, gehören zur Schicht 1. Materialien, die aus Elementen und mindestens einem Schicht 1 - Material aufgebaut sind, gehören zur Schicht 2. Die Anzahl möglicher Schichten ist nach oben offen.

Am Beispiel von Gips mit der Schichtzugehörigkeit 2 (Szg 2) soll der Schichtaufbau von Materialien gezeigt werden. In Klammern ist die jeweilige Schichtzugehörigkeit angegeben. Gips (Szg 2) besteht zu 79,1 % aus  $\text{CaSO}_4$  und zu 20,9 % aus Kristallwasser.  $\text{CaSO}_4$  lässt sich letztlich in die Elemente Ca, S und O (alle Szg 0) zerlegen. Kristallwasser (d. h. Wasser mit einer Zusatzinformation) gehört zur Schicht 1. Nach dem Materialschichtmodell ergibt sich folgender Aufbau:



Das Materialschichtmodell ermöglicht die korrekte, vollständige und widerspruchsfreie chemische Aufschlüsselung/Beschreibung eines jeden Materials, das im Abfallinventar enthalten ist, und durch Kumulation der Einzelangaben auch die genaue chemische Aufschlüsselung des Abfallinventars selbst.

### 4.1.3 Anorganische und organische Schadstoffmassen

Mit Hilfe des Materialschichtmodells wurde das gesamte, im ERAM vorhandene Abfallinventar nach Materialien, Komponenten (auch Verbindungen) und Elementen erfasst und aufgeschlüsselt. In einem ersten Schritt erfolgte dies unabhängig davon, ob die erfassten Stoffe chemotoxisch sind oder nicht, da auch nicht-chemotoxische Stoffe für die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Begrenzungen herangezogen werden. In einem zweiten Schritt ist das Abfallinventar in anorganische und organische Schadstoffe unterteilt und so zusammengefasst worden, dass die jeweiligen Elemente und Verbindungen mit ihren zugehörigen Massen entsprechend den in [21, 22, 23, 24] begrenzten Schadstoffen ausgewiesen und damit der wasserrechtlichen Überprüfung unmittelbar zugänglich sind. Bei den Organika hat dies auch die Zuordnung von einzelnen Schadstoffen zu Summenparametern umfasst.

Das Ergebnis dieser Aufschlüsselung des Abfallinventars geben Tab. 1 und 2 wieder. In Tab. 1 sind die anorganischen Schadstoffmassen aus den radioaktiven Abfällen/Abfallgebänden und der Braunkohlenfilterasche zusammengestellt, und zwar sowohl nach der Gesamtmasse als auch nach den auf die einzelnen Einlagerungsfelder entfallenden Anteile. Tab. 2 gibt die entsprechenden organischen Schadstoffmassen wieder.

Aus beiden Tabellen ist unmittelbar zu ersehen, dass bei den Anorganika die größten Anteile auf Siliciumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) mit  $2,24 \cdot 10^7$  kg, Eisen mit  $1,30 \cdot 10^7$  kg, Calcium mit  $7,71 \cdot 10^6$  kg und Aluminium mit  $4,29 \cdot 10^6$  kg entfallen. Bei den Organika werden die größten Massenanteile durch die Summenparameter "Suspendierte organische Stoffe (SOS)" mit  $5,86 \cdot 10^6$  kg und "Gelöste organische Kohlenstoffe (DOC)" mit  $3,57 \cdot 10^6$  kg gebildet. Zu den als suspendiert angenommenen Stoffen zählen z. B. Filterstäube, Öl, Russ und geringe Anteile von Holz, Pappe, Zellstoff, Zellulose, Papier, Phenoplaste,  $\text{Na}_2$ -Hydrogencitrat, Polystyrol, Polypropylen und Polyvinylchlorid. Unter den gelösten organischen Kohlenstoffen sind z. B. Aceton, Butylglykol, anionische und nichtionische Tenside, Ethylenglykol,  $\text{Na}_2$ -Hydrogencitrat und geringe Anteile von Zellulose, Papier, Holz, Pappe und Zellstoff zusammengefasst.

Unter dem Summenparameter "Kohlenwasserstoffe" sind Kohlenwasserstoffe und Mineralöle (Öl, Ölrückstände, Alkane, Kerosin, Hexadecan und Paraffin) zusammengefasst. Die Gesamtmasse der Kohlenwasserstoffe beläuft sich nach Tab. 2 auf 6.148 kg.

Organische chemotoxische Schadstoffe, die im Gramm-Bereich im radioaktiven Abfall vorhanden sind, wurden in Tab. 2 nicht aufgenommen. Zu diesen Stoffen zählen z. B. Chlorbenzole, chlorierte Naphthaline und Phenole oder polychlorierte Biphenyle, Dibenzodioxine und Dibenzofurane. Aufgrund ihrer sehr geringen Massen ist eine Gefährdung des oberflächennahen Grundwassers ausgeschlossen, da ihre Freisetzung (entsprechend der in Kap. 4.1.4 beschriebenen Berechnung) zu Konzentrationen in der Größenordnung von  $10^{-9}$  mg/l und kleiner führt.

#### 4.1.4 Modellmäßige Berechnung von Schadstoffkonzentrationen

Gemäß der in Kap. 3 dargestellten Vorgehensweise sind die Konzentrationen der anorganischen und organischen Schadstoffe im oberflächennahen Aquifer zu berechnen. Hierbei wird insbesondere auf Löslichkeitswerte in Wasser bei 25 °C zurückgegriffen, da Löslichkeiten der insgesamt zu untersuchenden anorganischen und organischen Stoffe in den Salzlösungen am Standort des Endlagers Morsleben nur zum Teil vorliegen. Für die Ermittlung der Löslichkeitswerte werden einschlägige Handbücher und Literaturangaben ausgewertet; in Tab. 3 sind beispielsweise die für anorganische Schadstoffe verwendeten Löslichkeiten zusammen mit der jeweiligen Bezugssubstanz aufgeführt [30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38].

Die modellmäßige Berechnung der Schadstoffkonzentrationen erfolgte in zwei Schritten:

- Im ersten Schritt wurden unter Berücksichtigung der Löslichkeiten die sich in den lösungserfüllten Resthohlräumen der Einlagerungsfelder einstellenden Konzentrationen berechnet. Entsprechend des gewählten, auf der sicheren Seite liegenden Ansatzes wurden diese Konzentrationen additiv aus den Einzelbeiträgen bestimmt, die von den unterschiedlichen Abfall-/Abfallgebindebestandteilen und der Braunkohlenfilterasche herrühren. Die Ergebnisse dieses Schrittes sind in Tab. 4 und 5 zusammengefasst, d. h. hier sind die gelösten Schadstoffmassen pro Einlagerungsfeld im einzelnen angegeben und damit der Quellterm für die wasserrechtlich relevanten Stoffe ermittelt.
- Im zweiten Schritt sind ausgehend von diesen gelösten Massen mit Hilfe der in Tab. 6 genannten Verdünnungsfaktoren [20] die jeweils von den Einlagerungsfeldern herrührenden Beiträge zur Schadstoffbelastung im oberflächennahen Grundwasser modellmäßig berechnet und in Tab. 7 und 8 getrennt angegeben worden. Von diesen Schadstoffkonzentrationen wurde der jeweils ungünstigste (d. h. größte) Wert als sog. Referenzwert Abfälle/BFA gesondert ausgewiesen. Im Sinne der hier verfolgten konservativen Modellbetrachtung wird er für die weitere Prüfung und Bewertung einer schädlichen Verunreinigung des oberflächennahen Grundwassers oder einer sonstigen nachteiligen Beeinflussung seiner Eigenschaften herangezogen.

Die Verwendung von Löslichkeitswerten, die in reinem Wasser ermittelt wurden, soll nachfolgend erläutert und begründet werden.

Bei Zutritt von salinaren Lösungen in der Nachbetriebsphase des ERAM wird ein Teil der wasserrechtlich relevanten Stoffe wie wasserlösliche Silber-, Blei- oder Zinkverbindungen mit den Salzlösungen unter Bildung von Chloriden und/oder Chlorokomplexen reagieren. Aus der Bestimmung von Löslichkeiten von z. B. Silberchlorid ( $\text{AgCl}$ ) oder Bleichlorid ( $\text{PbCl}_2$ ) in Natriumchloridlösungen [31, 32, 37] ist bekannt, dass die Konzentration von  $\text{AgCl}$  und  $\text{PbCl}_2$  - ausgehend von reinem Wasser - in diesen Lösungen mit zunehmender Natriumchloridkonzentration zunächst abnimmt, ein Minimum durchläuft und dann wieder stark zunimmt. In gesättigter Natriumchloridlösung ist die Löslichkeit von  $\text{AgCl}$  größer als in reinem Wasser, während die Löslichkeit von  $\text{PbCl}_2$  unterhalb des in reinem Wasser ermittelten Löslichkeitswertes liegt. Gleiche Verhältnisse sind auch für die Löslichkeit von Bleichlorid in Kalium- und Magnesiumchloridlösungen ermittelt worden [32].

Aus diesen Ergebnissen, die auch für eine Anzahl weiterer wasserrechtlich relevanter Stoffe gelten, können grundsätzlich zwei Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Wenn die Löslichkeit eines Stoffes in reinem Wasser größer als in einer gesättigten Salzlösung ist, stellt die Verwendung der in reinem Wasser ermittelten Löslichkeiten den konservativen Fall dar.

- Wenn die Löslichkeit eines Stoffes in gesättigter Salzlösung größer als in reinem Wasser ist, wird vergleichsweise eine größere Masse dieses Stoffes in Lösung gehen und aus dem Bereich der Einlage-rungsfelder bzw. der Grubengebäude ausgepresst werden. Bei dem Transport der belasteten Salzlö-sungen durch die Geosphäre wird die Konzentration der Salzlösung durch den Zutritt von unbelasteten Lösungen verringert. Damit nimmt auch - wie am Beispiel von AgCl und PbCl<sub>2</sub> dargestellt - die Löslich-keit des in der Salzlösung gelösten Stoffes ab. Die Löslichkeits- bzw. Konzentrationsabnahmen setzen sich weiter fort, bis sich bei Eintritt in den oberflächennahen Grundwasservolumenstrom von 25.000 m<sup>3</sup>/a praktisch wieder die Verhältnisse wie in reinem Wasser einstellen. Insofern können auch in diesem Fall Löslichkeitswerte verwendet werden, die in reinem Wasser ermittelt wurden.

Schließlich ist noch der Fall zu betrachten, dass anorganische und organische Stoffe in Salzlösungen keine Chloridverbindungen eingehen oder keine Chlorokomplexe bilden. Hier können die in reinem Wasser ermit-telten Löslichkeitswerte verwendet werden.

Insgesamt betrachtet kann damit die Schlussfolgerung gezogen werden, dass für die hier durchgeführte Modellbetrachtung - die keine geochemische Modellierung der tatsächlichen Lösungsvorgänge von anorga-nischen und organischen wasserrechtlich relevanten Stoffen in den am Standort des ERAM auftretenden Salzlösungen bezweckt noch damit verknüpft ist - die Verwendung von Löslichkeitswerten, die in reinem Wasser ermittelt wurden, letzten Endes den konservativen Fall darstellt.

## 4.2 VERGLEICH MIT BEGRENZUNGEN

Zur Bewertung der möglichen Auswirkungen auf den Zustand des oberflächennahen Grundwassers werden gemäß Kap. 3.1.3 die Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA und aus der Berliner Liste 2005, die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung und die Normalanforderungen aus dem Merkblatt W 251 des DVGW-Regelwerks als Maßstab herangezogen [21, 22, 23, 24]. Ein Überblick über die jeweils einzuhalten- den Begrenzungen ist in Tab. 9 und 10 wiedergegeben. Der Vergleich der hier zusammengestellten Begren- zungen mit den in Tab. 7 und 8 aufgeführten anorganischen und organischen Schadstoffen zeigt, dass die Anorganika

Silber	Siliciumdioxid
Beryllium	Zinn
Wismut	Tellur
Cäsium	Thorium
Kalium	Titan
Lithium	Uran
Rubidium	

und die Organika

Anionische und nichtionische Tenside

BTX

nicht begrenzt sind. Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass diese Stoffe nur in sehr geringen Konzentrationen im Grundwasser auftreten und/oder für sie keine humantoxikologischen Befunde vorliegen, die zu einer Begrenzung geführt hätten. Damit ist durch diese Schadstoffe offenbar eine schädliche Verun- reinigung des oberflächennahen Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigen- schaften nicht zu besorgen.

Für eine Reihe dieser Stoffe konnte aufgrund neuerer Erkenntnisse und Untersuchungsergebnisse eine zuvor existierende Begrenzung aufgehoben werden [39, 40]. In der Trinkwasserverordnung von 1990 [41] waren z. B. Silber, Kalium sowie anionische und nichtionische Tenside begrenzt; gleiches gilt für Siliciumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ), Zinn und BTX in den Empfehlungen der LAWA von 1993, 1996 und 1998 [42, 43, 44].

Vor dem Hintergrund des gewählten Ansatzes, eine Untersuchung mit auf der sicheren Seite liegenden Annahmen und Randbedingungen durchzuführen, werden nachfolgend zusätzliche Begrenzungen als Prüfmaßstab für die o. a. anorganischen und organischen Schadstoffe herangezogen. Hierbei wird insbesondere auf die Empfehlungen der LAWA von 1993, 1996 und 1998 [42, 43, 44], die Trinkwasserverordnung von 1990 [41] und das DVGW-Regelwerk von 1975 [45] zurückgegriffen.

Cäsium, Lithium und Rubidium sind als Spurenelemente in deutschen Mineralwässern enthalten. Lithium tritt in Konzentrationen von 4,6 mg/l bis 10 mg/l auf, in Einzelfällen auch darüber hinaus [46]. Die Aufnahme von Lithium mit der Nahrung beträgt etwa 1 mg/d bis 2,5 mg/d. Die Konzentrationen, in denen Rubidium und das ihm nah verwandte Cäsium auftreten, sind vergleichsweise niedriger und liegen im mg/l - Bereich. In der Mineral- und Tafelwasserverordnung werden Cäsium, Lithium und Rubidium weder genannt noch begrenzt [47]. Vor diesem Hintergrund erscheint die Annahme einer Begrenzung von jeweils 0,1 mg/l für diese Stoffe im Sinne einer vorsorglichen Regelung als gerechtfertigt.

Für Wismut (und Wismutverbindungen) wird der Vorschlag eines umweltbezogenen Grenzwertes herangezogen [48]. Ähnliches gilt für Tellur [49]. Da Titan in keinem wasserrechtlichen Regelwerk begrenzt ist, wird hilfsweise auf einen vorgeschlagenen Richtwert für die Begrenzung von Titanverbindungen in Wasser zurückgegriffen [49]. Für Thorium, das wie Uran zur Actiniumreihe zählt, wird die gleiche Begrenzung wie für Uran [50] angenommen.

Die in [21, 22, 23, 24] nicht enthaltenen (d. h. wasserrechtlich nicht begrenzten) und die zusätzlich angenommenen Begrenzungen sind in Tab. 11 zusammengefasst.

In Tab. 12 und 13 sind für die verschiedenen anorganischen und organischen Schadstoffe die modellmäßig berechneten Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser angegeben. Im Sinne des hier gewählten konservativen Ansatzes werden diese Werte mit den jeweils ungünstigsten (d.h. kleinsten) Begrenzungen (Spalte Begrenzung [mg/l]) aus den herangezogenen Regelwerken (Tab. 9 und 10) und den zusätzlich angenommenen Begrenzungen (Tab. 11) für die Bewertung der Auswirkungen auf den Grundwasserzustand verglichen; zusätzlich wird für jede Begrenzung die zutreffende Literaturstelle genannt.

Als wesentliche Ergebnisse dieser konservativen Modellbetrachtung (Tab. 12 und 13) bleiben festzuhalten:

- Es wird keine Begrenzung überschritten; die Referenzwerte Abfälle/BFA liegen alle unterhalb der Begrenzungen.
- Aus dem Vergleich der berechneten Schadstoffkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser mit den jeweiligen Begrenzungen folgt unmittelbar, dass die als Maßstab herangezogenen Geringfügigkeitschwellenwerte/Grenzwerte/Normalanforderungen/zusätzlichen Begrenzungen von etwa der Hälfte der anorganischen Schadstoffe um drei Größenordnungen (Zehnerpotenzen) unterschritten werden. Arsen und Kobalt unterschreiten die Begrenzungen um den Faktor 10, Magnesium und Titan um den Faktor  $10^5$ . Eine Ausnahme bildet Beryllium, das aufgrund geringer Löslichkeit rechnerisch sehr weit unter dem begrenzenden Wert liegt. Bei den organischen Schadstoffen werden die Begrenzungen von den meisten Verbindungen um zwei Größenordnungen unterschritten. DOC und nichtionische Tenside unterschreiten die Begrenzungen um den Faktor 10, EDTA um den Faktor  $10^4$ . Die Untersuchungen sind in Tab. 12 und 13 für jeden Schadstoff ausgewiesen, und zwar als Quotient aus der jeweiligen Begrenzung und dem verwendeten Referenzwert Abfälle/BFA (als Quotient Begrenzung/Referenzwert angegeben). Alle hier angegebenen Werte sind  $> 1$ , d. h. die Begrenzungen werden durch die modellmäßig berechneten Schadstoffkonzentrationen eingehalten.
- Unter zusätzlicher Berücksichtigung der in Kap. 3.1.1 getroffenen Annahmen und unterstellten Randbedingungen ist somit die Gefahr einer Beeinträchtigung des oberflächennahen Grundwassers nicht zu besorgen.

Der o. a. Betrachtung liegt die Modellvorstellung zugrunde, dass die von den einzelnen Einlagerungsfeldern herrührenden Schadstoffströme unabhängig voneinander in den Grundwasservolumenstrom eintreten und dort mit unbelasteten Wässern vermischt werden. Für die Untersuchung der möglichen Auswirkungen auf das oberflächennahe Grundwasser sind aus diesen Einzelströmen schadstoffspezifisch die jeweils größten Konzentrationswerte herangezogen worden (Referenzwerte Abfälle/BFA). In Ergänzung zu dieser Betrachtung wird in einem weiteren Schritt geprüft, ob die in Tab. 9 und 10 angegebenen Begrenzungen auch dann eingehalten werden, wenn die pro Einlagerungsfeld berechneten Schadstoffkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser additiv zusammengefasst werden (d. h. Bestimmung der jeweiligen schadstoffspezifischen Gesamtkonzentrationen). Das Ergebnis dieser Modellbetrachtung zeigen Tab. 14 und 15. Neben dem Referenzwert Abfälle/BFA sind die durch Addition der Einzelwerte modellmäßig berechneten Schadstoffgesamtkonzentrationen aufgeführt. Ihr Vergleich mit den Referenzwerten Abfälle/BFA zeigt, dass sich zum überwiegenden Teil nur der Faktor, nicht aber die Zehnerpotenz (Größenordnung) geändert hat. Größenordnungsmäßige Änderungen um eine Zehnerpotenz haben sich nur bei den Schadstoffen

Kobalt  
Chrom (VI)  
Chrom (gesamt)  
Lithium  
Vanadium  
suspendierte organische Stoffe

ergeben. Damit steht fest, dass auch unter diesen Randbedingungen die herangezogenen Begrenzungen eingehalten werden und keine Überschreitungen zu besorgen sind.

## 4.3 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Das Ergebnis der modellmäßigen Betrachtungen zur Verschmutzung des oberflächennahen Grundwassers soll nachfolgend mit dem Ziel weiter erläutert werden, anhand von vier Einzelaspekten die gewählte auf der sicheren Seite liegende Vorgehensweise, die damit verbundene Modelluntersuchung und die Konservativität der erzielten Ergebnisse aufzuzeigen und zu verdeutlichen.

### 4.3.1 Titan

Gemäß Liste II der Anlage zur Grundwasserverordnung [2] zählt Titan zu der Gruppe der Metalle, Metalloide und ihrer Verbindungen, die eine schädliche Wirkung auf das Grundwasser haben können und daher überprüft werden müssen.

Für Titan sind weder in den Empfehlungen der LAWA [21, 42, 43, 44] noch in der Berliner Liste 2005 [22] noch in der Trinkwasserverordnung [23, 41, 51] noch im DVGW-Regelwerk [24, 45] Begrenzungen angegeben. Die hiermit zum Ausdruck kommende offensichtliche Unbedenklichkeit gegenüber Titan wird durch folgende Sachverhalte gestützt:

- Titan zählt zwar zu den zu überprüfenden Elementen, stellt aber kein Risiko dar [52, 53]. Es bestehen keine Anhaltspunkte dafür, dass eingenommenes oder injiziertes Titanoxid im Körper akkumuliert wird, oder dass Titan ein essentielles Element für Menschen oder Tiere ist. Der menschliche Körper scheint jedenfalls eine hohe Toleranz gegenüber Titan zu besitzen. Nach einem Hinweis in [53] nimmt der

Mensch nach Valentin und Schaller am Tag 0,3 mg bis 1 mg Titan auf, scheidet aber den größten Teil mit dem Stuhl wieder aus. Der Körper von Erwachsenen enthält etwa 15 mg Titan, hauptsächlich in der Lunge. Valentin und Schaller halten eine Überwachung der Titankonzentration im menschlichen Körper für nicht notwendig; dies gilt auch für Titandioxid, die von der Industrie am häufigsten verwendete Titanverbindung.

- Nach internationalen Empfehlungen für die Trinkwasserqualität (1. Auflage 1984) zählt Titan nicht zu den gesundheitsgefährdenden Stoffen, die in ihrer Konzentration zu begrenzen wären [54]. Im Rahmen einer Bewertung anorganischer Stoffe, die potenziell gesundheitsgefährdend sind, wird Titan mit der Maßgabe "no action required" eingestuft. In der Fortschreibung dieser Empfehlungen (2. Auflage 1993) wird Titan nicht mehr erwähnt [55].
- Auch in abfallspezifischen Unterlagen wird Titan weder als „hazardous constituent“ eingestuft [56] noch bei der Zuordnung von Abfällen zur oberirdischen Ablagerung genannt bzw. begrenzt [57].

Unabhängig hiervon ist im Sinne des gewählten konservativen Ansatzes (Kap. 3.1) die Prüfung der möglichen Auswirkungen durchgeführt worden, die mit einer Freisetzung von Titan in das oberflächennahe Grundwasser verbunden sind. In diesem Zusammenhang wurde hilfsweise auf einen vorgeschlagenen Richtwert für die Begrenzung von Titanverbindungen in Wasser zurückgegriffen (Kap. 4.2). Mit den berechneten Titankonzentrationen sind keine nachteiligen Auswirkungen verbunden (Tab. 12 und 14). Dieses Ergebnis wird zusätzlich gestützt durch:

- Die modellmäßig ermittelten Ti-Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser liegen um etwa drei Zehnerpotenzen unterhalb des Wertes von  $1,0 \cdot 10^{-4}$  mg/l, für den Schadstoffkonzentrationen i. a. als gesundheitlich nicht relevant angesehen werden.
- Nach einem Hinweis in [58] geben Selyankina und Nekrasova für Titan in Gewässern einen Wert von  $1,0 \cdot 10^{-1}$  mg/l an. Bei Unterstellung dieses Wertes als einzuhaltende Begrenzung ist mit keiner Besorgnis zu rechnen, da er durch die modellmäßig ermittelte Titankonzentration im oberflächennahen Grundwasser um sechs Zehnerpotenzen unterschritten wird.

### 4.3.2 Abbau organischer Schadstoffe

Im Rahmen der Modellrechnung konnte gezeigt werden, dass die jeweiligen Begrenzungen von allen hier betrachteten organischen chemotoxischen Stoffen durch die berechneten Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser unterschritten werden, und zwar im Bereich von zwei bis vier Größenordnungen (Tab. 15). Damit ist eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften durch diese Verbindungen nicht zu besorgen.

Dieses Ergebnis gilt umso mehr, da gemäß Kap. 3.1.1 der Abbau organischer Abfall-/Abfallgebindebestandteile nicht berücksichtigt wurde, der letztlich zu kleineren Stoffkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser führt. Dieser Abbau ist realistischerweise anzunehmen und grundsätzlich durch hydrolytische, strahlenchemische oder mikrobiell induzierte Reaktionen möglich.

In der Phase nach dem Verfüllen und Verschließen des ERAM werden die sich in den Grubengebäuden einstellenden Bedingungen insbesondere durch Dunkelheit, anaerobe Verhältnisse, Salinität der zutretenden Lösungen und Toxizität der aus den radioaktiven Abfällen/Abfallgebänden und der Braunkohlefilterasche freigesetzten Schwermetalle geprägt. Auch unter diesen Randbedingungen werden mikrobiell induzierte Prozesse nicht auszuschließen sein, dürften aber nur Teilbeiträge zum Abbau organischer Stoffe leisten.

Die Dosiswerte der im ERAM endgelagerten radioaktiven Abfälle/Abfallgebinde sind aufgrund der radionuklidspezifischen Begrenzungen [59, 60] vergleichsweise niedrig. Diese Werte - bezogen auf die Gesamtheit des Einlagerungsgutes - liegen nicht in einer Größenordnung vor, die für signifikante strahlenchemische Umwandlungs- und Abbaureaktionen erforderlich ist. Daher werden nur kleine Ausbeuten erreicht. Die für einen weitergehenden radiolytischen Abbau notwendigen sehr langen Zeiträume lassen andere Reaktionen wie den chemischen Abbau von organischen Abfall-/Abfallgebindebestandteilen geschwindigkeitsbestim-

mend sein. Radiolytische Prozesse werden daher keine entscheidenden Beiträge zum Abbau von organischen chemotoxischen Stoffen leisten; hier werden chemische Reaktionen die dominierende Rolle übernehmen.

Organische Stoffe als Bestandteile der im ERAM endgelagerten radioaktiven Abfälle/Abfallgebilde werden insbesondere nach dem Zutritt von Salzlösung in die Resthohlräume der Einlagerungsfelder durch Hydrolysereaktionen mehr und mehr gespalten und können schließlich bis zu ihrer anorganischen bzw. mineralischen Stufe abgebaut werden. Unter Hydrolyse werden chemische Reaktionen verstanden, bei denen chemische Verbindungen durch Reaktion mit Wasser gemäß der formalen Gleichung  $A-B + H-OH \rightarrow A-H + B-OH$  gespalten werden. Die Hydrolyse spielt als Abbauvorgang eine erhebliche Rolle. Die Mineralisation stellt eine komplizierte, in verschiedenen Schritten verlaufende Umwandlung organischer Substanzen bis hin zu ihrem vollständigen Abbau in die konstitutiven mineralischen, d. h. anorganischen niedermolekularen Verbindungen oder Elemente wie Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlendioxid, Nitrat, Phosphat, Sulfat, Wasser, ggf. Methan, Ammoniak oder Schwefelwasserstoff dar [61, 62, 63]. So entstehen beispielsweise bei der Mineralisation von Polyethylen (PE), das als Verpackungsfolie im Abfall enthalten ist,  $CH_4$ ,  $CO_2$  und  $H_2$ .

Im Hinblick auf den Abbau der in den endgelagerten radioaktiven Abfällen/Abfallgebilden enthaltenen Tenside (anionisch, nichtionisch), EDTA und NTA sollen noch einige ergänzende Ausführungen gemacht werden. Nach der Neufassung des Wasch- und Reinigungsmittelgesetzes [64] bzw. nach der Verordnung über die Abbaubarkeit anionischer und nichtionischer grenzflächenaktiver Stoffe in Wasch- und Reinigungsmitteln [65] müssen diese Stoffe mindestens zu 80 % auf biologischem Wege innerhalb einer Testdauer von 5 Tagen abbaubar sein. Unter biologischer Abbaubarkeit wird die Eigenschaft eines organischen Stoffes verstanden, durch Mikroorganismen zersetzt zu werden [61, 63]. Dies ist insbesondere im Zusammenhang mit den für Wasch- und Reinigungszwecke eingesetzten Tensiden zu diskutieren:

- Die Prüfung und Bewertung einer möglichen Verschmutzung des oberflächennahen Grundwassers durch anionische Tenside, anionische und nichtionische Tenside sowie nichtionische Tenside hat gezeigt, dass kein Anlass zur Besorgnis besteht (Tab. 15).
- Diesem Ergebnis kommt eine besondere Bedeutung zu, da es ohne Berücksichtigung des hydrolytischen noch des biologischen Abbaus ermittelt wurde. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass Waschmittel bzw. grenzflächenaktive Stoffe aus dem ERAM über den Wasserpfad durch die Geosphäre gelangen. Aufgrund der hier vorherrschenden Randbedingungen würden jedoch sofort entsprechende Prozesse bis hin zum vollständigen Abbau einsetzen. Beispielsweise führt der Endabbau von anionischen Tensiden zu  $CO_2$ , Wasser und Biomasse [63].
- Die meisten eingesetzten Waschmittel bzw. grenzflächenaktive Stoffe (Tenside) übertreffen deutlich die gesetzliche Anforderung nach 80 %igem biologischen Abbau. Für die technisch und mengenmäßig wichtigsten Tenside liegt die Totalabbaubarkeit - einem i. a. besseren Bewertungsmaßstab für die Abbaubarkeit - im Bereich von 73 % bis 99 % [66].

Der Abbau von EDTA und NTA und ihren Salzen ist umfangreich untersucht worden. Als wesentliche Ergebnisse bleiben festzuhalten:

- EDTA und seine Metallkomplexe werden in HEIDA, IDA und MIDA umgewandelt; unter Bildung von methyl- und ethylsubstituierten Aminen wird EDTA vollständig abgebaut [67]. Die Umwandlung von EDTA wird durch Silikate und Phosphate katalysiert [68], so dass die Umwandlungsreaktionen in kürzeren Zeiträumen und bei niedrigeren Temperaturen erfolgen. Unter den im Endlager Morsleben vorherrschenden Bedingungen wird der hydrolytische Abbau von EDTA relativ langsam verlaufen. EDTA ist biologisch nur sehr schlecht abbaubar und wird nur langsam umgewandelt bzw. zersetzt [69].
- In der Praxis dienen über 90 % der verwendeten NTA - zum großen Teil in Form ihrer Natriumsalze wie  $Na_3NTA$  - als Phosphat-Ersatzstoff in Wasch- und Reinigungsmitteln. NTA und seine Verbindungen (Salze, Metallkomplexe) zeigen eine hohe aerobe biologische Abbaubarkeit, d. h. sie werden von Mikroorganismen sehr schnell umgewandelt und zu ihren anorganischen Endprodukten mineralisiert [69, 70, 71]. NTA ist in Gegenwart von Nitraten, die als Sauerstofflieferant dienen, auch anaerob abbaubar [72]. Nitrate sind im Abfall vorhanden, und zwar stehen  $3,78 \cdot 10^5$  kg Nitrat (Tab. 1) für den Abbau von  $1,03 \cdot 10^4$  kg NTA (Tab. 2) zur Verfügung.



Damit ist festzustellen, dass sich durch den hydrolytischen und biologischen Abbau von organischen Bestandteilen geringere Schadstoffkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser im Vergleich zu den ohne Berücksichtigung dieses Abbaus ermittelten Werten (Tab. 8) einstellen werden. Dieser Sachverhalt ist im Rahmen der durchgeführten Modellbetrachtung nicht berücksichtigt worden, d. h. hier liegen weitere Sicherheitsreserven vor.

### 4.3.3 Bandbreite des Schadstoffinventars

Gemäß dem für die Untersuchung und Bewertung der Auswirkungen auf das oberflächennahe Grundwasser gewählten, auf der sicheren Seite liegenden Ansatz sind

- die im Kap. 3.1 und 3.1.1 genannten Annahmen bzw. Randbedingungen berücksichtigt,
- die Schadstoffkonzentrationen in den lösungserfüllten Resthohlräumen der Einlagerungsfelder konservativ durch Addition der von den unterschiedlichen Abfall-/Abfallgebindebestandteilen und der Braunkohlenfilterasche jeweils herrührenden Einzelbeiträgen berechnet und,
- jeweils die größten Konzentrationswerte (Referenzwerte Abfälle/BFA) und die kleinsten Begrenzungen aus einschlägigen wasserrechtlichen Regelwerken verwendet wie auch für nicht begrenzte Schadstoffe zusätzliche Begrenzungen angenommen worden.

Vor diesem Hintergrund kann davon ausgegangen werden, dass mit den in Kap. 4.2 beschriebenen Ergebnissen der durchgeführten Modellbetrachtung erhebliche Sicherheitsreserven verbunden sind. So schließen beispielsweise die o. a. Wechselwirkungen der gelösten Stoffe und entstandenen Reaktionsprodukte die Bildung von schwerlöslichen Verbindungen ein. Aus Untersuchungen in konventionellen Abfalldeponien ist bekannt, dass sich Schwermetallionen (vor allem Eisenionen) zu schwerlöslichen Sulfiden, Karbonaten, Oxidhydraten und Phosphaten umsetzen oder als Komplexverbindungen mit organischen Stoffen zurückgehalten werden können [73, 74]. Dies bedeutet, dass bei einer tatsächlichen Freisetzung von anorganischen und organischen Schadstoffen in das oberflächennahe Grundwasser mit vergleichsweise geringeren Konzentrationen zu rechnen ist und die einzuhaltenden Begrenzungen von der überwiegenden Anzahl der Schadstoffe um mehr als drei Größenordnungen (Zehnerpotenzen) unterschritten werden.

Dieser Sachverhalt ist nicht nur im Hinblick auf die Einhaltung des wasserrechtlichen Schutzziels bzw. der schadstoffspezifischen Begrenzungen, sondern auch im Hinblick auf mögliche Unsicherheiten bei der Ermittlung der Eingangsdaten für die Bestimmung des Schadstoffinventars (Kap. 4.1) von Bedeutung. Von den hier zusammengetragenen Daten sind die Angaben zu den Abfallbehältermaterialien als am genauesten zu bewerten, da über die Behälter umfangreiche Unterlagen vorliegen und ausgewertet werden konnten. Auch zu den Fixierungsmitteln einschließlich der Braunkohlenfilterasche liegen recht genaue Beschreibungen der Zusammensetzung vor. Schwankungen treten hier z. B. durch die Verwendung von Zementmörtelmischungen unterschiedlicher Zusammensetzung auf. Die Abfallmaterialien selbst sind nicht in allen Fällen mengen- und zusammensetzungsmäßig genau bekannt. Für einen Teil liegen nur pauschale Angaben wie z. B. Mischabfälle, Schrott- und Bauschutt vor. Da in diesen Fällen die Zusammensetzung nicht näher benannt wurde, mussten Annahmen auf der Grundlage von Plausibilitätsbetrachtungen getroffen werden. Bandbreiten für Massenanteile und Zusammensetzungen des Abfallinventars sind in [13, 14] angegeben.

Die ermittelten Unterschreitungen der aus wasserrechtlicher Sicht einzuhaltenden Begrenzungen um eine bzw. in der überwiegenden Anzahl der Fälle um mehrere Größenordnungen können in Verbindung mit den darüber hinaus getroffenen konservativen Annahmen und Randbedingungen als ein Maß betrachtet werden, das etwaige Unsicherheiten bei der Abschätzung von Bandbreiten für Massenanteile und Zusammensetzungen der endgelagerten bzw. endzulagernden radioaktiven Abfälle/Abfallgebinde und der Braunkohlenfilterasche sowie die darauf aufbauende Ermittlung des gesamten Inventars an anorganischen und organischen Schadstoffen im ERAM abdeckt. Somit dürften im Einzelfall auch etwaige größere Schadstoffmengen nicht zu unzulässigen Überschreitungen der Geringfügigkeitsschwellenwerte/Grenzwerte/Normalanforderungen/zusätzlichen Anforderungen führen.

#### 4.3.4 Berücksichtigung von nichtradioaktiven Abfällen

In Kap. 2.3 sind die im ERAM vorhandenen nichtradioaktiven Abfälle, deren Rückholung nicht vorgesehen bzw. nicht möglich ist, mit  $2,56 \cdot 10^6$  kg für Metalle und mit  $5,80 \cdot 10^5$  kg für Organika angegeben. Diese Stoffe zählen auch zum Inventar der im ERAM insgesamt vorhandenen Abfälle und sind auch in die wasserrechtliche Bewegung mit einzubeziehen. Dies wird nachfolgend aufgezeigt.

Für die o. a. Metallmasse wird vereinfachend angenommen, dass es sich nur um Eisen handeln soll. Damit erhöht sich die insgesamt im ERAM vorhandene Eisenmasse von  $1,30 \cdot 10^7$  kg (Tab. 1) auf  $1,55 \cdot 10^7$  kg, d. h. um den Faktor 1,19. Es wird weiter theoretisch angenommen, dass die Eisenmasse von  $2,56 \cdot 10^6$  kg in entsprechender Weise auf die Einlagerungsfelder verteilt und bei der Freisetzung mit berücksichtigt wird. Bei einer Erhöhung um den Faktor 1,19 ist jedoch davon auszugehen, dass der Referenzwert Abfälle/BFA für Eisen in Höhe von  $1,38 \cdot 10^5$  mg/l (Tab. 12) nicht so vergrößert wird, dass die für Eisen geltende Begrenzung von 0,2 mg/l [23, 24] überschritten wird.

Auf die gleiche Weise lässt sich hinsichtlich der organischen nichtradioaktiven Abfälle in Höhe von  $5,80 \cdot 10^6$  kg argumentieren. Diese Abfälle können entweder dem gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) mit  $3,57 \cdot 10^6$  kg (Tab. 2) oder den suspendierten organischen Stoffen (SOS) mit  $5,86 \cdot 10^6$  kg (Tab. 2) zugeordnet werden. Auch hier ist davon auszugehen, dass die modellmäßig berechneten Referenzwerte Abfälle/BFA für DOC mit  $4,71 \cdot 10^{-3}$  mg/l (Tab. 13) bzw. für SOS mit  $9,04 \cdot 10^{-3}$  mg/l nicht so erhöht werden, dass die jeweiligen Begrenzungen für DOC mit 4,0 mg/l [24] und für SOS mit 5,0 mg/l [24] überschritten werden.

Damit ist festzuhalten, dass auch bei Berücksichtigung der nichtradioaktiven betrieblichen und bergbaulichen Abfälle keine Gefährdungen des oberflächennahen Grundwassers zu besorgen sind.

#### 4.4 VERGLEICH MIT DER NATÜRLICHEN GRUNDWASSER-BELASTUNG

In Ergänzung zu den bisher durchgeführten Betrachtungen soll in einem weiteren Schritt untersucht werden, inwiefern die natürlich bedingte Belastung des oberflächennahen Grundwassers von der einlagerungsbedingten zusätzlichen Belastung betroffen sein kann. Hierzu wird auf Grundwasseranalysen in der Allertalzone zurückgegriffen [75].

Die ermittelten Analysenergebnisse beziehen sich auf Grundwasserproben, die an verschiedenen Messstellen im Gebiet der Allertalzone genommen werden. Beprobt wurden die hydrogeologisch relevanten Lockergesteinseinheiten der Kreide (Walbecker Schichten und Alleringerslebener Schichten) und das Quartär. Entsprechend der hydrostratigrafischen Gliederung handelt es sich dabei um die Einheiten A1 bis A7. Diese Modelleinheiten repräsentieren den permeablen Teil des Deckgebirges, für den als Ergebnis der hydrogeologischen Modellrechnungen ein summarischer Grundwasservolumenstrom von  $25.000 \text{ m}^3/\text{a}$  ermittelt wurde. Dieser Wert wird auch im Langzeitsicherheitsnachweis verwendet [20].

Die in Tab. 16 und 17 angegebenen Analysenergebnisse beziehen sich auf Grundwasserproben aus dem Zeitraum November 1992 bis März 1997. Die Analysen wurden von unterschiedlichen Laboratorien durchgeführt, wodurch Schwankungen bei den Nachweisgrenzen auftreten. Bei der Zusammenstellung der Elementkonzentrationen wurden die hydrogeologischen Einheiten A1 bis A7 zusammengefasst und die jeweils niedrigsten und höchsten gemessenen Werte angegeben. Bei einem Teil der Elemente lagen einige Analysenergebnisse unterhalb der Nachweisgrenze; in diesen Fällen wurde die untere Nachweisgrenze als minimale Elementkonzentration aufgeführt. Für Silber lagen alle Analysenwerte unterhalb der Nachweisgrenze; daher wurde hier die höchste Nachweisgrenze als maximale Konzentration angenommen.

Um die zusätzliche Belastung des oberflächennahen Grundwassers prüfen und bewerten zu können, wurden die Bandbreiten der aus den o. a. Analysen resultierenden Messwerte mit den entsprechenden, für die

jeweiligen anorganischen und organischen Schadstoffe berechneten Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser (Referenzwerte Abfälle/BFA) verglichen (Tab. 16 und 17). Aus dem Vergleich der berechneten mit den gemessenen Konzentrationen folgt unmittelbar, dass mit einer Ausnahme alle modellmäßig bestimmten Schadstoffkonzentrationen die gemessenen Werte deutlich (d. h. im Bereich mehrerer Zehnerpotenzen) unterschreiten. Die einzige Ausnahme bildet die Nitratkonzentration, bei der der berechnete Wert von  $1,24 \cdot 10^{-2}$  mg/l knapp unterhalb der unteren Grenze (hier: Bestimmungsgrenze  $0,05 \text{ mg/l} = 5,0 \cdot 10^{-2}$  mg/l) des gemessenen Wertes liegt. Ein Anlass zur Besorgnis ist hiermit nicht gegeben, da die modellmäßige Berechnung der Nitratkonzentration unter auf der sicheren Seite liegenden Randbedingungen vorgenommen wurde (z. B. Verwendung der größten Konzentration (Referenzwert Abfälle/BFA) und der kleinsten Begrenzung).

Vor diesem Hintergrund kann festgestellt werden, dass die modellmäßig berechnete zusätzliche Belastung durch anorganische und organische Schadstoffe der endgelagerten bzw. endzulagernden radioaktiven Abfälle/Abfallgebände und der Braunkohlenfilterasche ausnahmslos unterhalb der Bandbreite der gemessenen Konzentrationen der vorhandenen natürlich bedingten Belastung im oberflächennahen Grundwasser der Allertalzone liegt. Die hier rein rechnerisch ermittelten Belastungen werden zudem durch die zugrunde gelegten, auf der sicheren Seite liegenden Annahmen und Randbedingungen (Kap. 3.1.1) noch deutlich relativiert. Damit ist auch in Bezug auf diesen Vergleich der Schluss zu ziehen, dass nur geringfügige zusätzliche Belastungen des oberflächennahen Grundwassers möglich sein können, aber keine schädlichen Verunreinigungen oder sonstige nachteilige Veränderungen seiner Eigenschaften.

## 4.5 WAHRUNG DES WASSERRECHTLICHEN SCHUTZZIELS

Die vorliegende Prüfung und Bewertung einer Verschmutzung des oberflächennahen Grundwassers durch bestimmte gefährliche Stoffe ist auf der Basis von Angaben, die im Rahmen einer Bestandsaufnahme bei den Abfallverursachern und ergänzend dazu in umfangreichen Literaturrecherchen ermittelt wurden, unter weit auf der sicheren Seite liegenden Annahmen und Randbedingungen vorgenommen worden. Die durchgeführten Modellbetrachtungen zeigen im Ergebnis auf, dass eine schädliche Verunreinigung des oberflächennahen Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften im Sinne des § 34 Abs. 2 WHG und des § 138 Abs. 2 WG LSA nicht zu besorgen ist. Das modellmäßig berechnete Ausmaß der Schadstofffreisetzung aus dem ERAM ist danach so gering, dass das Schutzgut "oberflächennahes Grundwasser" nicht beeinträchtigt und damit das diesbezügliche Schutzziel der Endlagerung radioaktiver Abfälle eingehalten wird.

Mit diesem Ergebnis wird nach gegenwärtigem Kenntnisstand auch den Grundwasserqualitätsnormen der Europäischen Union Rechnung getragen. Danach wird Grundwasser als in gutem chemischen Zustand betrachtet, wenn die im Anhang I der Grundwasser-Richtlinie [7] genannten Begrenzungen eingehalten werden. Die Qualitätsnorm von 50 mg/l für Nitrate wird deutlich unterschritten (Tab. 14) wie auch die Qualitätsnorm  $1,0 \cdot 10^{-4}$  mg/l bzw.  $5,0 \cdot 10^{-4}$  mg/l (insgesamt) für Pestizide (Kap. 4.1.3). Die in Anhang II, Teil B genannten Schadstoffe Arsen, Cadmium, Blei, Quecksilber, Ammonium, Chlorid und Sulfat sind untersucht worden; die synthetisch hergestellten Stoffe Trichlorethylen und Tetrachlorethylen sind in den endgelagerten/endzulagernden radioaktiven Abfällen/Abfallgebänden und der Braunkohlenfilterasche nicht enthalten. Die hier von der EU geforderten nationalen Festlegungen stehen allerdings noch aus (Kap. 1).

## 5 ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG

Die im Zusammenhang mit den Planungsarbeiten für das Verfüllen und Verschließen des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben erforderliche Prüfung und Bewertung einer möglichen Verschmutzung des oberflächennahen Grundwassers durch organische und anorganische Schadstoffe, die als Bestandteile der endgelagerten bzw. endzulagernden radioaktiven Abfälle/Abfallgebinde und der Braunkohlenfilterasche in der Nachbetriebsphase freigesetzt werden können, sind mit Hilfe von Modellbetrachtungen durchgeführt worden. Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass unter den getroffenen modellmäßigen Annahmen und den angenommenen ungünstigsten Randbedingungen die jeweils restriktivsten schadstoffspezifischen Begrenzungen der Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA und der Berliner Liste 2005, der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung und der Normalanforderungen aus dem Merkblatt W 251 des DVGW-Regelwerks in den meisten Fällen um drei Größenordnungen (Zehnerpotenzen) unterschritten werden. Dies gilt auch für die zusätzlich angenommenen Begrenzungen, die ebenfalls deutlich unterschritten werden.

Unter Berücksichtigung der gewählten Modellbetrachtung, bei der insbesondere

- die Auflösung der radioaktiven Abfälle/Abfallgebinde und der Braunkohlenfilterasche unter Berücksichtigung von Löslichkeitsgrenzen zu Beginn der Nachbetriebsphase angenommen wurde (ungünstigste hypothetische Ausgangssituation),
- die Schadstoffkonzentrationen in den lösungserfüllten Resthohlräumen der Einlagerungsfelder konservativ durch Addition der von den unterschiedlichen Abfall-/Abfallgebindebestandteilen und der Braunkohlenfilterasche jeweils herrührenden Einzelbeiträge berechnet wurden,
- für die gelösten anorganischen und organischen Schadstoffe weder eine Rückhaltung durch Sorptionsvorgänge im Bereich der Grubengebäude und an den Gesteinen unterstellt noch eine Filterwirkung der Gesteine in Ansatz gebracht wurde (d. h. keine Rückhaltewirkung der technischen und geologischen Barrieren sowie des Deckgebirges),
- die Herabsetzung von Schadstoffkonzentrationen durch Fällungs- und Flockungsreaktionen, Löslichkeitsherabsetzungen oder -heraufsetzungen (Aussalz- bzw. Einsalzeffekte) sowie Wechselwirkungen der gelösten Stoffe und entstandenen Reaktionsprodukte nicht berücksichtigt wurden,
- kein Abbau von organischen chemotoxischen Stoffen berücksichtigt wurde, und
- stets die größten Konzentrationswerte (Referenzwerte Abfälle/BFA) und die kleinsten Begrenzungen aus einschlägigen wasserrechtlichen Regelwerken verwendet wie auch für nicht begrenzte Schadstoffe zusätzliche Begrenzungen angenommen wurden,

muss davon ausgegangen werden, dass sich in Wirklichkeit weitaus kleinere Konzentrationen der hier untersuchten anorganischen und organischen Schadstoffe im oberflächennahen Grundwasser einstellen werden.

Als Gesamtergebnis ist damit festzustellen, dass bei Unterschreitung der als Maßstab herangezogenen Begrenzungen (hier: jeweils restriktivster Wert aus den verwendeten Verordnungen, Regelwerken und Empfehlungen) im Hinblick auf den Zustand des oberflächennahen Grundwassers ein Gefahrenverdacht als ausgeräumt anzusehen ist. Nach den durchgeführten Betrachtungen und Untersuchungen können bestimmte gefährliche Stoffe aus den endgelagerten bzw. endzulagernden radioaktiven Abfällen/Abfallgebinden und der Braunkohlenfilterasche in nur so geringer Menge und Konzentration in das oberflächennahe Grundwasser gelangen, dass die Gefahr einer Beeinträchtigung der Grundwasserqualität bzw. eine schädliche Verunreinigung seiner Eigenschaften im Sinne des § 34 Abs. WHG und § 138 Abs. 2 WG LSA nicht zu besorgen ist.

## 6 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] "Richtlinie des Rates vom 17. Dezember 1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe (80/68/EWG)"  
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 20/43-48, 26.01.1980
- [2] "Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 80/68/EWG des Rates vom 17. Dezember 1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe (Grundwasserverordnung) vom 18. März 1997"  
Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1997, Teil I, Nr. 18, S. 542-544
- [3] "Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG)"  
Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1996, Teil I, Nr. 58, S. 1696-1711
- [4] "Bekanntmachung der Neufassung des Wassergesetzes für das Land Sachsen-Anhalt (WG LSA) vom 12. April 2006"  
Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Sachsen-Anhalt 17 (2006), Nr. 15, S. 248-310
- [5] P. Brennecke / **ZERNA**  
"Endlager Morsleben (ERAM) - Grundwasserrelevante Aspekte: Berücksichtigung von Verfüllmaßnahmen im Zentralteil"  
Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht SE-IB-15/07, Salzgitter, März 2007
- [6] P. Brennecke / **ZERNA**  
"Endlager Morsleben (ERAM) - Grundwasserrelevante Aspekte: Berücksichtigung von Verfüll- und Verschleißmaßnahmen"  
Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht SE-IB-16/07, Salzgitter, März 2007
- [7] "Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung"  
Amtsblatt der Europäischen Union, L 372/19-31, 27.12.2006  
"Berichtigung der Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung"  
Amtsblatt der Europäischen Union, L 53/30, 22.02.2007
- [8] K. Kugel  
"Radionuklidinventar des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben - Einlagerungszeitraum 1971 bis 1991 -"  
Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-100-REV-2, Salzgitter, Oktober 2006
- [9] K. Kugel  
"Entsorgung radioaktiver Abfälle im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) - Einlagerungszeitraum 1971 bis 1991 -"  
Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-109-REV-2, Salzgitter, Dezember 2006
- [10] K. Kugel  
"Entsorgung radioaktiver Abfälle im Endlager Morsleben (ERAM) - Zwischengelagerte radioaktive Abfälle -"  
Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-112, Salzgitter, Februar 2000
- [11] K. Kugel  
"Entsorgung radioaktiver Abfälle im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) - Einlagerungszeitraum 1994 bis 1998 -"  
Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-110-REV-2, Salzgitter, Januar 2007
- [12] K. Kugel  
"Entsorgung radioaktiver Abfälle im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) - Überblick über die Einlagerung radioaktiver Abfälle im gesamten Zeitraum 1971 bis 1998"  
Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht SE-IB-13/07, Salzgitter, Februar 2007

- [13] C. Herzog / L. Schneider / V. Simm  
"Stoffliche Bestandteile in den Einlagerungshohlräumen des ERAM"  
Stoller Ingenieurtechnik GmbH, Dresden, Stand: 27.04.2000
- [14] K. Kugel / W. Noack  
"Stoffliche Bestandteile der radioaktiven Abfälle im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)"  
Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-115-REV-1, Salzgitter, November 2000
- [15] "Stilllegung ERA Morsleben – Plan zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben  
(einschließlich der Endlagerung bereits zwischengelagerter radioaktiver Abfälle und noch anfallender betrieblicher radioaktiver Abfälle)"  
Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, Stand: 22. August 2005
- [16] H.-J. Herbert / J. Mönig  
"Exemplarische Untersuchungen von Wechselwirkungsreaktionen UTD-relevanter chemisch-toxischer Abfälle mit hochsalinaren Lösungen"  
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Bericht GRS-126, Braunschweig, Juli 1996
- [17] H.-J. Herbert / J. Mönig  
"Wechselwirkungsreaktionen Untertagedeponie-relevanter chemisch-toxischer Abfälle mit hochsalinaren Lösungen"  
Geologische Rundschau 86 (1997) Nr. 2, S. 389-403
- [18] H.-J. Herbert / H. Moog / S. Hagemann / J. Mibus  
"Experimentelle Untersuchungen und geochemische Modellierung zum Verhalten schwermetallhaltiger chemisch-toxischer Abfälle in Untertagedeponien in Salzformationen"  
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Bericht GRS-A-2655, Köln, Juli 1999
- [19] U. Hässelbarth  
"Die Bedeutung der Grenzwerte für chemische Stoffe in der Trinkwasserverordnung und die Regelungen beim Überschreiten von Grenzwerten"  
in: K. Aurand/U. Hässelbarth/H. Lange-Asschenfeldt/W. Steuer (Hrsg.), "Die Trinkwasserverordnung - Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden", S. 126-140, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co, Berlin (1991)
- [20] M. Niemeyer / G. Resele / J. Skrzyppek / S. Wilhelm / J. Holocher / O. Jaquet / G. Klubertanz / J. Poppei / R. Schwarz  
"Endlager Morsleben - Langzeitsicherheitsnachweis für das verfüllte und verschlossene Endlager mit dem Programm PROSA"  
Colenco Power Engineering AG, Bericht 4651/144, Baden/Schweiz, Stand: 04.07.2004
- [21] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) unter Vorsitz von Nordrhein-Westfalen (Hrsg.)  
"Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser"  
Düsseldorf, Stand: Dezember 2004
- [22] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung  
"Bewertungskriterien für die Beurteilung von Grundwasserverunreinigungen in Berlin (Berliner Liste 2005)"  
Amtsblatt für Berlin (2005) Nr. 35, S. 2683-2692
- [23] "Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001"  
Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2001, Teil I, Nr. 24, S. 959-980
- [24] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.  
"Eignung von Fließgewässern für die Trinkwasserversorgung"  
DVGW-Regelwerk, Technische Mitteilung, Merkblatt W 251, DVGW, Bonn, August 1996

- [25] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) unter Vorsitz des Niedersächsischen Umweltministeriums  
"Grundsätze des vorsorgenden Grundwasserschutzes bei Abfallverwertung und Produkteinsatz (GAP-Papier)"  
Hannover, Stand: Mai 2002
- [26] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO),  
Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)  
"Gefahrenbeurteilung von Bodenverunreinigungen/Altlasten als Gefahrenquelle für das Grundwasser"  
Stand: 17. Juni 1998
- [27] "Gesetz zu dem Gemeinsamen Übereinkommen vom 5. September 1997 über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle (Gesetz zu dem Übereinkommen über nukleare Entsorgung) vom 13. August 1998"  
Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1998, Teil II, Nr. 31, S. 1752-1780
- [28] "Siebtes Gesetz zur Änderung des Wasserhaushaltsgesetzes vom 18. Juni 2002"  
Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2002, Teil I, Nr. 37, S. 1914-1922
- [29] "Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik"  
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 327/1-72, 22.12.2000
- [30] R. K. Freier  
"Aqueous Solutions - Data for Inorganic and Organic Compounds - Vol. 1  
Wässrige Lösungen - Daten für Anorganische und Organische Verbindungen - Bd.1"  
Verlag Walter de Gruyter & Co, Berlin/New York (1976)
- [31] W. F. Linke  
"Solubilities - Inorganic and Metal-Organic Compounds"  
Vol. I: A-I  
American Chemical Society, Washington (1958)
- [32] W. F. Linke  
"Solubilities - Inorganic and Metal-Organic Compounds"  
Vol. II: K-Z  
American Chemical Society, Washington (1965)
- [33] R. C. Weast / D. R. Lide / M. J. Astle / W. H. Beyer (Hrsg.)  
"CRC Handbook of Chemistry and Physics"  
70<sup>th</sup> Edition 1989-1990  
CRC Press, Boca Raton (1990)
- [34] L. J. Csetenyi / F. P. Glasser  
"Borate Substituted Ettringites"  
in: C. G. Interrante / R. T. Pabalan (Hrsg.), "Scientific Basis for Nuclear Waste Management XVI",  
Symposium held November 30 - December 4, 1992, Boston, Massachusetts, U.S.A., Materials Research Society Symposium Proceedings Volume 294, S. 273-278, Materials Research Society, Pittsburgh (1993)
- [35] U. Berner  
"KRISTALLIN-1: Estimates of Solubility Limits for Safety Relevant Radionuclides"  
- Paul-Scherrer-Institut, PSI-Bericht Nr. 95-07, Würenlingen und Villigen, Stand: April 1995  
- Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, NAGRA Technical Report NTB 94-08, Wettingen, Stand: April 1995
- [36] D'Ans Lax  
"Taschenbuch für Chemiker und Physiker"  
Springer Verlag, Berlin/Heidelberg (1967)

- [37] K. H. Lieser  
 "Radiochemische Messung der Löslichkeit von Silberhalogeniden in Wasser und in Natriumhalogenid-  
 lösungen und die Komplexbildung der Silberhalogenide mit Halogenionen"  
 Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie 292 (1957) S. 97-113
- [38] K. B. Krauskopf  
 "Introduction to Geochemistry"  
 Verlag Mc Graw-Hill, New York (1979)
- [39] "Begründung - Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung"  
 in: A. Grohmann / U. Hässelbarth / W. Schwerdtfeger (Hrsg.), "Die Trinkwasserverordnung - Einfüh-  
 rung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden", S. 743-  
 794, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin (2003)
- [40] W. Kölle  
 "Wasseranalysen-richtig beurteilt - Grundlagen, Parameter, Wassertypen, Inhaltsstoffe, Grenzwerte  
 nach Trinkwasserverordnung und EU-Trinkwasserrichtlinie"  
 Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA, Weinheim (2003)
- [41] "Bekanntmachung der Neufassung der Trinkwasserverordnung vom 5. Dezember 1990"  
 Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1990, Teil I, Nr. 66, S. 2612-2629  
 "Berichtigung der Neufassung der Trinkwasserverordnung vom 23. Januar 1991"  
 Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1991, Teil I, Nr. 7, S. 227
- [42] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser - Arbeitskreis Grundwassergüte  
 "Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden"  
 Stand: Oktober 1993
- [43] LAWA-Arbeitskreis Grundwasserschutz bei Abfallverwertung und Produkteinsatz  
 "Aktualisierte Prüfwerte der LAWA-Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von  
 Grundwasserschäden"  
 Entwurf, Stand: 03. Dezember 1996
- [44] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) - ad-hoc-AK Prüfwerte  
 "Geringfügigkeitsschwellen (Prüfwerte) zur Beurteilung von Grundwasserschäden und ihre Begrün-  
 dung"  
 Stand: 21. Dezember 1998
- [45] Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern e. V.  
 "Eignung von Oberflächenwasser als Rohstoff für die Trinkwasserversorgung"  
 DVGW-Regelwerk, Technische Regeln, Arbeitsblatt W 151, DVGW, Eschborn, Juli 1975
- [46] G. Michel  
 "Mineral- und Thermalwässer - Allgemeine Balneogeologie"  
 in der Reihe: G. Matthess (Hrsg.), "Lehrbuch der Hydrogeologie", Bd. 7, Gebrüder Borntraeger,  
 Berlin/Stuttgart (1997)
- [47] "Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser (Mineral- und Tafelwas-  
 ser-Verordnung) vom 1. August 1984"  
 Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1984, Teil I, Nr. 34, S. 1036-1045
- [48] R. P. Pohanish (Hrsg.)  
 "Sittig's Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens"  
 Fourth Edition, Volume 1: A-H  
 Noyes Publications/William Andrew Publishing, Norwich (2002)



- [49] R. P. Pohanish (Hrsg.)  
 "Sittig's Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens"  
 Fourth Edition, Volume 2: I-Z  
 Noyes Publications/William Andrew Publishing, Norwich (2002)
- [50] World Health Organization  
 "Guidelines for drinking-water quality"  
 Addendum to Volume 1 Recommendations, WHO Publications, Genf (1998)
- [51] "Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung-  
 TrinkwV) vom 22. Mai 1986"  
 Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1986, Teil I, Nr. 22, S. 760-773
- [52] E. Bartholomé (Hrsg.)  
 "Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie"  
 4., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Bd. 23" Textilhilfsmittel bis Vulkanfieber", Verlag Chemie,  
 Weinheim/Deerfield Beach/Basel (1983)
- [53] J. Whitehead  
 "Titan"  
 in: E. Merian (Hrsg.), "Metalle in der Umwelt - Verteilung, Analytik und biologische Relevanz", S. 585-  
 588, Verlag Chemie, Weinheim/Deerfield Beach/Basel (1984)
- [54] World Health Organization  
 "Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1: Recommendations"  
 First Edition, WHO Publications, Genf (1984)
- [55] World Health Organization  
 "Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1: Recommendations"  
 Second Edition, WHO Publications, Genf (1993)
- [56] B. S. Bowerman / C. R. Kempf / D. R. MacKenzie / B. Siskind / P. L. Piciulo / S. A. Romano  
 "An Analysis of Low-Level Wastes: Review of Hazardous Waste Regulations and Identification of Ra-  
 dioactive Mixed Wastes"  
 Final Report NUREG/CR-4406 BNL-NUREG-51933, Brookhaven National Laboratory, Upton,  
 December 1985
- [57] "Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall) vom 10. April 1990 - Teil 1:  
 Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen und biologischen Behandlung und  
 Verbrennung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen"  
 Gemeinsames Ministerialblatt 41 (1990) Nr. 11, S. 170-223
- [58] K. Höll / S. Carlson / D. Lüdemann / H. Ruffer  
 "Wasser - Untersuchung, Beurteilung, Aufbereitung, Chemie, Bakteriologie, Virologie, Biologie"  
 Verlag Walter de Gruyter, Berlin/New York (1986)
- [59] Deutsche Demokratische Republik  
 Fachbereichsstandard "Zentrale Erfassung radioaktiver Abfälle" (TGL 190-921/01 - 05)  
 Berlin, Juni 1985
- [60] K. Kugel / W. Noack / H. Giller / B.-R. Martens / P. Brennecke (Bearb.)  
 "Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle und Maßnahmen zur Produktkontrolle radioakti-  
 ver Abfälle, Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM), Teil I: Endlagerungsbedingungen,  
 Stand: August 1996"  
 Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-85, Salzgitter, August 1996
- [61] M. Bahadir / H. Parker / M. Spiteller (Hrsg.)  
 "Springer Umweltlexikon"  
 Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/London/Paris/Tokyo/Hong Kong/Barcelona/Budapest  
 (1995)

- [62] Herder  
"Lexikon der Biologie, Sechster Band: Minamata - Krankheit bis Prädisposition"  
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin/Oxford (1994)
- [63] H. Hulpke / H. A. Koch / R. Wagner (Hrsg.)  
"Römp Lexikon Umwelt"  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart/New York (1983)
- [64] "Bekanntmachung der Neufassung des Wasch- und Reinigungsmittelgesetzes vom 5. März 1987"  
Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1987, Teil I, Nr. 20, S. 875-879
- [65] "Dritte Verordnung zur Änderung der Verordnung über die Abbaubarkeit anionischer und nichtionischer grenzflächenaktiver Stoffe in Wasch- und Reinigungsmitteln vom 4. Juni 1986"  
Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1986, Teil I, Nr. 25, S. 851
- [66] J. Trénel  
"Oberflächenaktive Stoffe - Bedeutung und Bestimmung"  
in: K. Aurand / U. Hässelbarth / M. Lange-Asschenfeldt / W. Steuer (Hrsg.), "Die Trinkwasserverordnung - Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden", S. 432-437, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin (1991)
- [67] J. S. Boles / K. Ritchie / D. A. Crerar  
"Reducing the Potential for Migration of Radioactive Waste: Aqueous Thermal Degradation of the Chelating Agent Disodium EDTA"  
Nuclear and Chemical Waste Management 7 (1987) Nr. 2, S. 89-93
- [68] R. J. Motekaitis / X. B. Cox, III / P. Taylor / A. E. Martell  
"Thermal Degradation of EDTA Chelates in Aqueous Solution"  
Canadian Journal of Chemistry 60 (1982) S. 1207-1213
- [69] H.-J. Brauch / S. Schullerer  
"Verhalten von Ethylendiamintetraacetat (EDTA) und Nitrilotriacetat (NTA) bei der Trinkwasseraufbereitung"  
Vom Wasser 69 (1987) S. 155-164
- [70] E. Kuhn / M. van Loosdrecht / W. Giger / R. Schwarzenbach  
"Microbial Degradation of Nitrilotriacetat (NTA) during River Water/Groundwater Infiltration: Laboratory Column Studies"  
Water Research 25 (1987) Nr. 1, S. 1237-1248
- [71] C. Gousetis / H.-J. Opgenorth  
"Nitrilotriacetic Acid"  
in: "Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sixth Edition, 1999 Electronic Release", Wiley – VCH Verlag GmbH, Weinheim/New York/Chicester/Brisbane/Singapore/Toronto (1999)
- [72] D. Kiessling  
"Nitrilotriessigsäure"  
in: "Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie", 4. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Bd. 17, S. 339-341, Verlag Chemie, Weinheim/New York (1979)
- [73] G. Matthess  
"Die Beschaffenheit des Grundwassers"  
in der Reihe: G. Matthess (Hrsg.), "Lehrbuch der Hydrogeologie", Bd. 2, Gebrüder Borntraeger, Berlin/Stuttgart (1994)
- [74] M. Östmann / O. Wahlberg / S. Ågren / A. Mårtensson  
"Metal and Organic Matter Contents in a Combined Household and Industrial Landfill"  
Waste Management 26 (2006) S. 29-40

- [75] S. Mix / H. Käbel / U. Langkutsch / G. Schwamm  
"Projekt ERA Morsleben - Datendokumentation Hydrogeologie"  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Bericht Archiv-Nr. Hannover 117424/Tagebuch-  
Nr. DB 274/99, Hannover, Februar 1999

ERA  
Morsleben

# TABELLEN

Tab. 1: Anorganische Schadstoffmassen aus den radioaktiven Abfällen/Abfallgebinden und der Braunkohlenfilterasche.

Schadstoff	Anorganische Schadstoffmassen pro Einlagerungsfeld [kg]					
	Gesamtmasse	Nordfeld	Westfeld	Ostfeld	Zentralteil	Südfeld
Silber	181	$1 \cdot 10^{-1}$	138	16	$2 \cdot 10^{-1}$	27
Aluminium	4.298.155	17.662	1.882.359	270.935	16.647	2.110.552
Arsen	5.353	$1 \cdot 10^{-3}$	2.180	$1 \cdot 10^{-2}$	24	3.149
Bor	361.639	1.733	38.629	20.598	1.138	299.541
Barium	138.206	635	107.424	5.071	184	24.892
Beryllium	158		64		$7 \cdot 10^{-1}$	93
Wismut	264	6	154	13	$6 \cdot 10^{-1}$	90
Calcium	7.717.117	112.568	3.523.849	255.137	29.078	3.796.485
Cadmium	83	6	44	7	$1 \cdot 10^{-1}$	26
Chlorid	560.389	33.559	393.630	81.435	801	50.964
Kobalt	4.290	42	2.326	1.205	56	661
Chrom (VI)	468	1	196	7	2	262
Chrom (gesamt)	141.925	3.159	76.612	42.135	9.695	10.324
Cäsium	946	3	392	5	4	542
Kupfer	269.514	2.081	188.502	72.946	154	5.831
Fluorid	1.805	173	1.195	330	$2 \cdot 10^{-1}$	107
Eisen	13.028.109	308.797	8.374.449	2.902.914	46.255	1.395.694
Quecksilber	17	$3 \cdot 10^{-2}$	7	$6 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	10
Kalium	203.562	3.395	99.780	48.567	303	51.517
Lithium	3.308	26	1.660	911	3	708
Magnesium	814.065	3.945	368.430	35.990	3.070	402.630

Tab. 1: Anorganische Schadstoffmassen aus den radioaktiven Abfällen/Abfallgebinden und der Braunkohlenfilterasche (Fortsetzung).

Schadstoff	Anorganische Schadstoffmassen pro Einlagerungsfeld [kg]					
	Gesamtmasse	Nordfeld	Westfeld	Ostfeld	Zentralteil	Südfeld
Mangan	107.943	382	38.147	16.263	1.201	51.950
Molybdän	710	9	298	111	152	140
Natrium	844.727	5.581	288.145	138.538	1.772	410.691
Ammonium	39.904		20.963	9.667	17	9.257
Nickel	84.054	1.781	42.836	23.329	11.318	4.790
Nitrat	378.316	900	8.331	12.248	902	355.935
Blei	47.508	192	43.466	165	24	3.661
Phosphat	48.015		17.445	10.488		20.082
Rubidium	10.711	51	4.485	94	46	6.035
Antimon	2.547	$2 \cdot 10^{-3}$	1.314	907	$2 \cdot 10^{-1}$	326
Selen	205	$4 \cdot 10^{-2}$	84	$4 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-1}$	120
Siliciumdioxid	22.459.854	329.206	11.754.138	2.944.855	67.771	7.363.884
Zinn	3.732	117	2.410	331	7	867
Sulfat	3.449.600	18	1.470.128	59.218	14.546	1.905.690
Tellur	27	$3 \cdot 10^{-2}$	11	$8 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	16
Thorium	1.045	11	470	22	4	538
Titan	260.253	615	112.068	26.000	1.936	119.634
Thallium	11	$6 \cdot 10^{-2}$	5	$1 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-2}$	6
Uran	791	$6 \cdot 10^{-1}$	325	1	4	461
Vanadium	6.017	39	2.245	1.507	17	2.209
Zink	79.289	5.520	54.352	10.006	44	9.367

Tab. 2: Organische Schadstoffmassen aus den radioaktiven Abfällen/Abfallgebinden und der Braunkohlenfilterasche.

Schadstoff	Organische Schadstoffmassen pro Einlagerungsfeld [kg]					
	Gesamtmasse	Nordfeld	Westfeld	Ostfeld	Zentralteil	Südfeld
Anionische Tenside	7.417		3.747	2.739		931
Anionische und nichtionische Tenside	15.551		7.851	5.748		1.952
BTX	667	361	286			20
DOC	3.572.031	237.115	2.830.266	387.758	1.656	115.236
EDTA	4		3	$8 \cdot 10^{-1}$		$4 \cdot 10^{-1}$
Kohlenwasserstoffe	6.148	414	3.588	1.582		564
Nichtionische Tenside	8.135		4.104	3.010		1.021
NTA	10.346		167	384	24	9.771
Suspendierte organische Stoffe	5.865.671	378.408	4.601.775	645.868	3.608	236.012

Tab. 3: Löslichkeiten von Elementen und anorganischen Verbindungen in reinem Wasser.

Element	Löslichkeit [mg/l]	Bezugssubstanz
Silber	15,1	Ag <sub>2</sub> O
Aluminium	1,3 · 10 <sup>-1</sup>	Al(OH) <sub>3</sub>
Arsen	17,0	Ca <sub>10</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (OH) <sub>2</sub>
Bor	3,2	Ca <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> (B(OH) <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH,O) <sub>12</sub> · 26 H <sub>2</sub> O
Barium	1,5	BaSO <sub>4</sub>
Beryllium	3,8 · 10 <sup>-10</sup>	BeO
Wismut	8,1 · 10 <sup>-2</sup>	BiO <sup>+</sup>
Calcium	33,0	CaSiO <sub>3</sub>
Cadmium	2,0	Cd(OH) <sub>2</sub> / CdO
Chlorid	1,6 · 10 <sup>5</sup>	NaCl
Kobalt	2,3 · 10 <sup>3</sup>	Co(OH) <sub>2</sub>
Chrom (VI)	7,8 · 10 <sup>3</sup>	CaCrO <sub>4</sub>
Chrom (gesamt)	2,4 · 10 <sup>-8</sup>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Cäsium	3,9 · 10 <sup>5</sup>	CsOH
Kupfer	5,0 · 10 <sup>-3</sup>	CuO
Fluorid	3,8 · 10 <sup>3</sup>	CaF <sub>2</sub>
Eisen	4,5 · 10 <sup>-1</sup>	Fe(OH) <sub>2</sub>
Quecksilber	45,0	HgO
Kalium	3,7 · 10 <sup>5</sup>	KOH
Lithium	3,2 · 10 <sup>4</sup>	LiOH
Magnesium	2,7	Mg(OH) <sub>2</sub>

Tab. 3: Löslichkeiten von Elementen und anorganischen Verbindungen in reinem Wasser (Fortsetzung).

Element	Löslichkeit [mg/l]	Bezugssubstanz
Mangan	1,1	Mn(OH) <sub>2</sub>
Molybdän	24,0	CaMoO <sub>4</sub>
Natrium	2,4 · 10 <sup>5</sup>	NaOH
Ammonium	2,9 · 10 <sup>5</sup>	NH <sub>4</sub> Cl *)
Nickel	2,2 · 10 <sup>-1</sup>	Ni(OH) <sub>2</sub>
Nitrat	9,2 · 10 <sup>5</sup>	NaNO <sub>3</sub> *)
Blei	1,0	Pb(OH) <sub>2</sub>
Phosphat	7,1 · 10 <sup>4</sup>	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> *)
Rubidium	1,3 · 10 <sup>4</sup>	RbOH
Antimon	7,0	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Selen	4,7 · 10 <sup>-2</sup>	FeSe <sub>2</sub>
Siliciumdioxid	69,0	SiO <sub>2</sub>
Zinn	1,6 · 10 <sup>-1</sup>	Sn <sup>++</sup>
Sulfat	4,7 · 10 <sup>4</sup>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> *)
Tellur	3,6 · 10 <sup>-2</sup>	TeO <sub>2</sub>
Thorium	1,6 · 10 <sup>-2</sup>	ThO <sub>2</sub>
Titan	4,8 · 10 <sup>-2</sup>	TiO <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O
Thallium	2,0 · 10 <sup>5</sup>	Tl <sup>+</sup>
Uran	7,6 · 10 <sup>-3</sup>	UO <sub>2</sub>
Vanadium	28,0	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Zink	8,4 · 10 <sup>-2</sup>	Zn(OH) <sub>2</sub>

\*) repräsentativer Vertreter



Tab. 4: Gelöste anorganische Stoffmassen aus den radioaktiven Abfällen/Abfallbinden und der Braunkohlenfilterasche.

Schadstoff	Gelöste Stoffmassen pro Einlagerungsfeld [kg]				
	Nordfeld	Westfeld	Ostfeld	Zentralteil	Südfeld
Silber	$1 \cdot 10^{-1}$	138	$16 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	27
Aluminium	$1 \cdot 10^{-1}$	4	8	$6 \cdot 10^{-1}$	72
Arsen	$1 \cdot 10^{-3}$	398	$1 \cdot 10^{-2}$	24	3.149
Bor	3	75	161	58	1.359
Barium	360	8.751	1.647	27	1.583
Beryllium		$9 \cdot 10^{-9}$		$7 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-7}$
Wismut	$8 \cdot 10^{-2}$	2	4	$6 \cdot 10^{-1}$	34
Calcium	1.027	36.978	21.919	23.417	664.429
Cadmium	2	44	7	$2 \cdot 10^{-1}$	26
Chlorid	79	2.893	2.794	105	43.482
Kobalt	41	2.326	1.205	56	661
Chrom (VI)	$9 \cdot 10^{-1}$	196	7	2	262
Chrom (gesamt)	$9 \cdot 10^{-1}$	196	7	2	263
Cäsium	2	392	5	4	542
Kupfer	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-1}$	1	$2 \cdot 10^{-1}$	6
Fluorid	161	1.059	302		104
Eisen	$9 \cdot 10^{-1}$	22	47	16	397
Quecksilber	$2 \cdot 10^{-2}$	7	$6 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	10
Kalium	3.395	99.780	48.567	303	51.517
Lithium	25	1.660	911	3	708
Magnesium	10	749	1.078	84	2.879

Tab. 4: Gelöste anorganische Stoffmassen aus den radioaktiven Abfällen/Abfallbinden und der Braunkohlenfilterasche (Fortsetzung).

Schadstoff	Gelöste Stoffmassen pro Einlagerungsfeld [kg]				
	Nordfeld	Westfeld	Ostfeld	Zentralteil	Südfeld
Mangan	1	27	58	21	489
Molybdän	9	298	111	152	140
Natrium	5.581	288.140	138.538	1.772	410.689
Ammonium		7.064	5.259	17	7.328
Nickel	$2 \cdot 10^{-1}$	12	25	8	218
Nitrat	900	8.331	12.248	902	355.935
Blei	1	241	80	18	430
Phosphat		5.652	3.082		13.242
Rubidium	50	4.485	93	46	6.035
Antimon	$2 \cdot 10^{-3}$	165	356	$2 \cdot 10^{-1}$	317
Selen	$4 \cdot 10^{-2}$	1	$4 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-1}$	20
Siliciumdioxid	72	1.617	3.477	1.263	29.310
Zinn	$1 \cdot 10^{-1}$	3	8	3	68
Sulfat	19	83.680	39.664	14.546	630.942
Tellur	$3 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	15
Thorium	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	6
Titan	$5 \cdot 10^{-2}$	1	2	$8 \cdot 10^{-1}$	14
Thallium	$6 \cdot 10^{-2}$	5	$1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	6
Uran	$8 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	3
Vanadium	29	656	1.411	17	2.209
Zink	$8 \cdot 10^{-2}$	36	78	2	178

Tab. 5: Gelöste organische Stoffmassen aus den radioaktiven Abfällen/Abfallgebinden und der Braunkohlenfilterasche.

Schadstoff	Gelöste Schadstoffmassen aus Abfällen/Abfallgebinden/BFA [kg]				
	Nordfeld	Westfeld	Ostfeld	Zentralteil	Südfeld
Anionische Tenside		3.747	2.739		931
Anionische und nichtionische Tenside		7.851	5.748		1.952
BTX	361	286			20
DOC	4.286	19.719	9.993	98	41.417
EDTA		3	$8 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-1}$
Kohlenwasserstoffe	23	518	1.114		564
Nichtionische Tenside		4.104	3.010		1.021
NTA		167	384	24	9.771
Suspendierte organische Stoffe	8.219	50.279	23.354	312	132.661

Tab. 6: Einlagerungsfeldspezifische Verdünnungsfaktoren (hier: radioaktive Abfälle/Abfallgebinde und Braunkohlenfilterasche).

Einlagerungsfeld	Verdünnungsfaktor [m <sup>-3</sup> ]
Nordfeld	$1,1 \cdot 10^{-9}$
Westfeld	$3,5 \cdot 10^{-11}$
Ostfeld	$7,1 \cdot 10^{-12}$
Zentralteil	$2,2 \cdot 10^{-11}$
Südfeld	$3,5 \cdot 10^{-11}$

ERA  
Morsleben

Tab. 7: Anorganische Schadstoffe (hier: radioaktive Abfälle/Abfallgebinde und Braunkohlenfilterasche) und ihre modellmäßig berechneten Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser.

Schadstoff	Schadstoffkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser [mg/l]					Referenzwert Abfälle/BFA
	Nordfeld	Westfeld	Ostfeld	Zentralteil	Südfeld	
Silber	$1,85 \cdot 10^{-7}$	$4,83 \cdot 10^{-6}$	$1,17 \cdot 10^{-7}$	$5,23 \cdot 10^{-9}$	$9,45 \cdot 10^{-7}$	$4,83 \cdot 10^{-6}$
Aluminium	$1,96 \cdot 10^{-7}$	$1,39 \cdot 10^{-7}$	$6,07 \cdot 10^{-8}$	$1,36 \cdot 10^{-8}$	$2,52 \cdot 10^{-6}$	$2,52 \cdot 10^{-6}$
Arsen	$1,19 \cdot 10^{-9}$	$1,39 \cdot 10^{-5}$	$1,11 \cdot 10^{-10}$	$5,36 \cdot 10^{-7}$	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$1,10 \cdot 10^{-4}$
Bor	$3,70 \cdot 10^{-6}$	$2,62 \cdot 10^{-6}$	$1,14 \cdot 10^{-6}$	$1,28 \cdot 10^{-6}$	$4,75 \cdot 10^{-5}$	$4,75 \cdot 10^{-5}$
Barium	$3,96 \cdot 10^{-4}$	$3,06 \cdot 10^{-4}$	$1,16 \cdot 10^{-5}$	$6,05 \cdot 10^{-7}$	$5,54 \cdot 10^{-5}$	$3,96 \cdot 10^{-4}$
Beryllium		$3,15 \cdot 10^{-16}$		$1,54 \cdot 10^{-15}$	$5,74 \cdot 10^{-15}$	$5,74 \cdot 10^{-15}$
Wismut	$9,39 \cdot 10^{-8}$	$6,65 \cdot 10^{-8}$	$2,89 \cdot 10^{-8}$	$1,36 \cdot 10^{-8}$	$1,20 \cdot 10^{-7}$	$1,20 \cdot 10^{-7}$
Calcium	$1,12 \cdot 10^{-3}$	$1,29 \cdot 10^{-3}$	$1,55 \cdot 10^{-4}$	$5,15 \cdot 10^{-4}$	$2,32 \cdot 10^{-2}$	$2,32 \cdot 10^{-2}$
Cadmium	$2,31 \cdot 10^{-6}$	$1,55 \cdot 10^{-6}$	$4,90 \cdot 10^{-7}$	$3,42 \cdot 10^{-9}$	$9,01 \cdot 10^{-7}$	$2,31 \cdot 10^{-6}$
Chlorid	$8,64 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	$1,98 \cdot 10^{-5}$	$2,31 \cdot 10^{-6}$	$1,52 \cdot 10^{-3}$	$1,52 \cdot 10^{-3}$
Kobalt	$4,58 \cdot 10^{-5}$	$8,14 \cdot 10^{-5}$	$8,55 \cdot 10^{-6}$	$1,22 \cdot 10^{-6}$	$2,31 \cdot 10^{-5}$	$8,14 \cdot 10^{-5}$
Chrom (VI)	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$6,84 \cdot 10^{-6}$	$4,73 \cdot 10^{-8}$	$4,47 \cdot 10^{-8}$	$9,18 \cdot 10^{-6}$	$9,18 \cdot 10^{-6}$
Chrom (gesamt)	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$6,84 \cdot 10^{-6}$	$4,70 \cdot 10^{-8}$	$4,50 \cdot 10^{-8}$	$9,19 \cdot 10^{-6}$	$9,19 \cdot 10^{-6}$
Cäsium	$3,03 \cdot 10^{-6}$	$1,37 \cdot 10^{-5}$	$3,64 \cdot 10^{-8}$	$9,19 \cdot 10^{-8}$	$1,89 \cdot 10^{-5}$	$1,89 \cdot 10^{-5}$
Kupfer	$5,79 \cdot 10^{-9}$	$1,14 \cdot 10^{-8}$	$5,01 \cdot 10^{-9}$	$4,07 \cdot 10^{-9}$	$2,08 \cdot 10^{-7}$	$2,08 \cdot 10^{-7}$
Fluorid	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$3,70 \cdot 10^{-5}$	$2,14 \cdot 10^{-7}$		$3,64 \cdot 10^{-6}$	$1,77 \cdot 10^{-4}$
Eisen	$1,05 \cdot 10^{-6}$	$7,66 \cdot 10^{-7}$	$3,34 \cdot 10^{-7}$	$3,67 \cdot 10^{-7}$	$1,38 \cdot 10^{-5}$	$1,38 \cdot 10^{-5}$
Quecksilber	$3,05 \cdot 10^{-8}$	$2,50 \cdot 10^{-7}$	$4,59 \cdot 10^{-10}$	$1,76 \cdot 10^{-9}$	$3,46 \cdot 10^{-7}$	$3,46 \cdot 10^{-7}$
Kalium	$3,73 \cdot 10^{-3}$	$3,49 \cdot 10^{-3}$	$3,44 \cdot 10^{-5}$	$6,66 \cdot 10^{-6}$	$1,80 \cdot 10^{-3}$	$3,73 \cdot 10^{-3}$
Lithium	$2,78 \cdot 10^{-5}$	$5,81 \cdot 10^{-5}$	$6,46 \cdot 10^{-6}$	$6,82 \cdot 10^{-8}$	$2,47 \cdot 10^{-5}$	$5,81 \cdot 10^{-5}$
Magnesium	$1,17 \cdot 10^{-5}$	$2,62 \cdot 10^{-5}$	$7,65 \cdot 10^{-6}$	$1,85 \cdot 10^{-6}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$

Tab. 7: Anorganische Schadstoffe (hier: radioaktive Abfälle/Abfallgebinde und Braunkohlenfilterasche) und ihre modellmäßig berechneten Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser (Fortsetzung).

Schadstoff	Schadstoffkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser [mg/l]					Referenzwert Abfälle/BFA
	Nordfeld	Westfeld	Ostfeld	Zentralteil	Südfeld	
Mangan	$1,33 \cdot 10^{-6}$	$9,45 \cdot 10^{-7}$	$4,11 \cdot 10^{-7}$	$4,64 \cdot 10^{-7}$	$1,71 \cdot 10^{-5}$	$1,71 \cdot 10^{-5}$
Molybdän	$9,90 \cdot 10^{-6}$	$1,04 \cdot 10^{-5}$	$7,88 \cdot 10^{-7}$	$3,34 \cdot 10^{-6}$	$4,90 \cdot 10^{-6}$	$1,04 \cdot 10^{-5}$
Natrium	$6,13 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$9,83 \cdot 10^{-4}$	$3,89 \cdot 10^{-5}$	$1,43 \cdot 10^{-2}$	$1,43 \cdot 10^{-2}$
Ammonium		$2,47 \cdot 10^{-4}$	$3,73 \cdot 10^{-5}$	$3,69 \cdot 10^{-7}$	$2,56 \cdot 10^{-4}$	$2,56 \cdot 10^{-4}$
Nickel	$2,55 \cdot 10^{-7}$	$4,21 \cdot 10^{-7}$	$1,75 \cdot 10^{-7}$	$1,77 \cdot 10^{-7}$	$7,63 \cdot 10^{-6}$	$7,63 \cdot 10^{-6}$
Nitrat	$9,90 \cdot 10^{-4}$	$2,91 \cdot 10^{-4}$	$8,69 \cdot 10^{-5}$	$1,98 \cdot 10^{-5}$	$1,24 \cdot 10^{-2}$	$1,24 \cdot 10^{-2}$
Blei	$1,15 \cdot 10^{-6}$	$8,42 \cdot 10^{-6}$	$5,66 \cdot 10^{-7}$	$4,02 \cdot 10^{-7}$	$1,50 \cdot 10^{-5}$	$1,50 \cdot 10^{-5}$
Phosphat		$1,97 \cdot 10^{-4}$	$2,18 \cdot 10^{-5}$	$2,91 \cdot 10^{-4}$		$2,91 \cdot 10^{-4}$
Rubidium	$5,57 \cdot 10^{-5}$	$1,56 \cdot 10^{-4}$	$6,65 \cdot 10^{-7}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$2,11 \cdot 10^{-4}$	$2,11 \cdot 10^{-4}$
Antimon	$2,38 \cdot 10^{-9}$	$5,77 \cdot 10^{-6}$	$2,52 \cdot 10^{-6}$	$5,06 \cdot 10^{-9}$	$1,10 \cdot 10^{-5}$	$1,10 \cdot 10^{-5}$
Selen	$4,98 \cdot 10^{-8}$	$3,85 \cdot 10^{-8}$	$2,93 \cdot 10^{-8}$	$1,89 \cdot 10^{-8}$	$7,00 \cdot 10^{-7}$	$7,00 \cdot 10^{-7}$
Siliciumdioxid	$7,99 \cdot 10^{-5}$	$5,65 \cdot 10^{-5}$	$2,46 \cdot 10^{-5}$	$2,77 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$
Zinn	$1,85 \cdot 10^{-7}$	$1,31 \cdot 10^{-7}$	$5,72 \cdot 10^{-8}$	$6,44 \cdot 10^{-8}$	$2,38 \cdot 10^{-6}$	$2,38 \cdot 10^{-6}$
Sulfat	$2,03 \cdot 10^{-5}$	$2,92 \cdot 10^{-3}$	$2,81 \cdot 10^{-4}$	$3,20 \cdot 10^{-4}$	$2,20 \cdot 10^{-2}$	$2,20 \cdot 10^{-2}$
Tellur	$3,32 \cdot 10^{-8}$	$2,95 \cdot 10^{-8}$	$5,48 \cdot 10^{-10}$	$2,72 \cdot 10^{-9}$	$5,35 \cdot 10^{-7}$	$5,35 \cdot 10^{-7}$
Thorium	$1,85 \cdot 10^{-8}$	$1,31 \cdot 10^{-8}$	$5,72 \cdot 10^{-9}$	$6,44 \cdot 10^{-9}$	$2,38 \cdot 10^{-7}$	$2,38 \cdot 10^{-7}$
Titan	$5,57 \cdot 10^{-8}$	$3,95 \cdot 10^{-8}$	$1,71 \cdot 10^{-8}$	$1,93 \cdot 10^{-8}$	$5,04 \cdot 10^{-7}$	$5,04 \cdot 10^{-7}$
Thallium	$6,60 \cdot 10^{-8}$	$1,75 \cdot 10^{-7}$	$7,10 \cdot 10^{-10}$	$1,10 \cdot 10^{-9}$	$2,10 \cdot 10^{-7}$	$2,10 \cdot 10^{-7}$
Uran	$8,87 \cdot 10^{-9}$	$2,00 \cdot 10^{-8}$	$2,74 \cdot 10^{-9}$	$3,08 \cdot 10^{-9}$	$1,13 \cdot 10^{-7}$	$1,13 \cdot 10^{-7}$
Vanadium	$3,24 \cdot 10^{-5}$	$2,29 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-5}$	$3,71 \cdot 10^{-9}$	$7,73 \cdot 10^{-5}$	$7,73 \cdot 10^{-5}$
Zink	$9,73 \cdot 10^{-8}$	$1,27 \cdot 10^{-6}$	$5,55 \cdot 10^{-7}$	$4,58 \cdot 10^{-8}$	$6,23 \cdot 10^{-6}$	$6,23 \cdot 10^{-6}$

Tab. 8: Organische Schadstoffe (hier: radioaktive Abfälle/Abfallgebinde und Braunkohlenfilterasche) und ihre modellmäßig berechneten Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser.

Schadstoff	Schadstoffkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser [mg/l]					Referenzwert Abfälle/BFA
	Nordfeld	Westfeld	Ostfeld	Zentralteil	Südfeld	
Anionische Tenside		$1,31 \cdot 10^{-4}$	$1,94 \cdot 10^{-5}$		$3,25 \cdot 10^{-5}$	$1,31 \cdot 10^{-4}$
Anionische und nichtionische Tenside		$2,74 \cdot 10^{-4}$	$4,08 \cdot 10^{-5}$		$6,83 \cdot 10^{-5}$	$2,74 \cdot 10^{-4}$
BTX	$3,97 \cdot 10^{-4}$	$1,00 \cdot 10^{-5}$			$6,93 \cdot 10^{-7}$	$3,97 \cdot 10^{-4}$
DOC	$4,71 \cdot 10^{-3}$	$6,90 \cdot 10^{-4}$	$7,09 \cdot 10^{-5}$	$2,15 \cdot 10^{-6}$	$1,44 \cdot 10^{-3}$	$4,71 \cdot 10^{-3}$
EDTA		$1,11 \cdot 10^{-7}$	$5,87 \cdot 10^{-9}$	$6,13 \cdot 10^{-12}$	$1,50 \cdot 10^{-8}$	$1,11 \cdot 10^{-7}$
Kohlenwasserstoffe	$2,55 \cdot 10^{-5}$	$1,81 \cdot 10^{-5}$	$7,90 \cdot 10^{-6}$		$1,97 \cdot 10^{-5}$	$2,55 \cdot 10^{-5}$
Nichtionische Tenside		$1,43 \cdot 10^{-4}$	$2,13 \cdot 10^{-5}$		$3,57 \cdot 10^{-5}$	$1,43 \cdot 10^{-4}$
NTA		$5,84 \cdot 10^{-6}$	$2,72 \cdot 10^{-6}$	$5,34 \cdot 10^{-7}$	$3,41 \cdot 10^{-4}$	$3,41 \cdot 10^{-4}$
Suspendierte organische Stoffe	$9,04 \cdot 10^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{-3}$	$1,65 \cdot 10^{-4}$	$6,86 \cdot 10^{-6}$	$4,64 \cdot 10^{-3}$	$9,04 \cdot 10^{-3}$

Tab. 9: Vergleich von Begrenzungen für anorganische Schadstoffe.

Schadstoff	Berliner Liste 2005 [mg/l]	LAWA 2004 [mg/l]	TrinkwasserV 2001 [mg/l]	DVGW 1996 [mg/l]
Silber				
Aluminium			0,2	0,1
Arsen	0,01	0,01	0,01	0,005
Bor	0,74	0,74	1,0	0,5
Barium	0,34	0,34		
Beryllium				
Wismut				
Calcium				100
Cadmium	0,0005	0,0005	0,005	0,001
Chlorid	250	250	250	100
Kobalt	0,008	0,008		
Chrom (VI)	0,006			
Chrom (gesamt)			0,05	0,03
Cäsium				
Kupfer	0,014	0,014	2,0	0,02
Fluorid	0,75	0,75	1,5	1,0
Eisen			0,2	0,2
Quecksilber	0,0002	0,0002	0,001	0,0005
Kalium				
Lithium				
Magnesium				30



Tab. 9: Vergleich von Begrenzungen für anorganische Schadstoffe (Fortsetzung).

Schadstoff	Berliner Liste 2005 [mg/l]	LAWA 2004 [mg/l]	TrinkwasserV 2001 [mg/l]	DVGW 1996 [mg/l]
Mangan			0,05	0,03
Molybdän	0,035	0,035		
Natrium			200	60
Ammonium			0,5	0,2
Nickel	0,014	0,014	0,02	0,03
Nitrat			50	25
Blei	0,007	0,007	0,01	0,01
Phosphat				0,15
Rubidium				
Antimon	0,005	0,005	0,005	
Selen	0,007	0,007	0,01	0,001
Siliciumdioxid				
Zinn				
Sulfat	240	240	240	100
Tellur				
Thorium				
Titan				
Thallium	0,0008	0,0008		
Uran				
Vanadium	0,004 <sup>*)</sup>	0,004 <sup>*)</sup>		
Zink	0,058	0,058		0,1

<sup>\*)</sup> Anwendung dieses Wertes bis zum 31.12.2007 ausgesetzt

Tab. 10: Vergleich von Begrenzungen für organische Schadstoffe.

Schadstoff	Berliner Liste 2005 [mg/l]	LAWA 2004 [mg/l]	TrinkwasserV 2001 [mg/l]	DVGW 1996 [mg/l]
Anionische Tenside				0,1
Anionische Tenside und nichtionische Tenside				
BTX				
DOC				4,0
EDTA				0,005
Kohlenwasserstoffe	0,1	0,1		0,05
Nichtionische Tenside				0,1
NTA				0,01
Suspendierte organische Stoffe				5,0

Tab. 11: Zusätzlich angenommene Begrenzungen für anorganische und organische Schadstoffe.

Schadstoff	Begrenzung [mg/l]	Zitat
Silber	0,01	[41]
Beryllium	0,0001	[45]
Wismut	0,0035	[47]
Cäsium	0,1	
Kalium	12	[41]
Lithium	0,1	
Rubidium	0,1	
Siliciumdioxid	10	[42]
Zinn	0,04	[43]
Tellur	0,0014	[48]
Thorium	0,002	
Titan	0,083	[48]
Uran	0,002	[49]
Anionische und nichtionische Tenside	0,2	[41]
BTX	0,01	[44]

Tab. 12: Vergleich von modellmäßig berechneten Konzentrationen anorganischer Schadstoffe im oberflächennahen Grundwasser mit Begrenzungen aus einschlägigen wasserrechtlichen Regelwerken.

Schadstoff	Referenzwert Abfälle/BFA [mg/l]	Begrenzung [mg/l]	Zitat	Quotient Begrenzung/ Referenzwert
Silber	$4,83 \cdot 10^{-6}$	0,01	[41]	$2,07 \cdot 10^3$
Aluminium	$2,52 \cdot 10^{-6}$	0,1	[24]	$3,96 \cdot 10^4$
Arsen	$1,10 \cdot 10^{-4}$	0,005	[24]	$4,54 \cdot 10^1$
Bor	$4,75 \cdot 10^{-5}$	0,5	[24]	$1,05 \cdot 10^3$
Barium	$3,96 \cdot 10^{-4}$	0,34	[21 ,22]	$8,58 \cdot 10^2$
Beryllium	$5,74 \cdot 10^{-15}$	0,0001	[45]	$1,74 \cdot 10^{10}$
Wismut	$1,20 \cdot 10^{-7}$	0,0035	[47]	$2,91 \cdot 10^4$
Calcium	$2,32 \cdot 10^{-2}$	100	[24]	$4,31 \cdot 10^3$
Cadmium	$2,31 \cdot 10^{-6}$	0,0005	[21 ,22]	$2,16 \cdot 10^2$
Chlorid	$1,52 \cdot 10^{-3}$	100	[24]	$6,57 \cdot 10^4$
Kobalt	$8,14 \cdot 10^{-5}$	0,008	[21 ,22]	$9,82 \cdot 10^1$
Chrom (VI)	$9,18 \cdot 10^{-6}$	0,006	[22]	$6,53 \cdot 10^2$
Chrom (gesamt)	$9,19 \cdot 10^{-6}$	0,03	[24]	$3,26 \cdot 10^3$
Cäsium	$1,89 \cdot 10^{-5}$	0,1		$5,29 \cdot 10^3$
Kupfer	$2,08 \cdot 10^{-7}$	0,014	[21 ,22]	$6,73 \cdot 10^4$
Fluorid	$1,77 \cdot 10^{-4}$	0,75	[21 ,22]	$4,23 \cdot 10^3$
Eisen	$1,38 \cdot 10^{-5}$	0,2	[23, 24]	$1,44 \cdot 10^4$
Quecksilber	$3,46 \cdot 10^{-7}$	0,0002	[21 ,22]	$5,78 \cdot 10^2$
Kalium	$3,73 \cdot 10^{-3}$	12	[41]	$3,21 \cdot 10^3$
Lithium	$5,81 \cdot 10^{-5}$	0,1		$1,72 \cdot 10^3$
Magnesium	$1,00 \cdot 10^{-4}$	30	[24]	$3,00 \cdot 10^5$

Tab. 12: Vergleich von modellmäßig berechneten Konzentrationen anorganischer Schadstoffe im oberflächennahen Grundwasser mit Begrenzungen aus einschlägigen wasserrechtlichen Regelwerken (Fortsetzung).

Schadstoff	Referenzwert Abfälle/BFA [mg/l]	Begrenzung [mg/l]	Zitat	Quotient Begrenzung/ Referenzwert
Mangan	$1,71 \cdot 10^{-5}$	0,03	[24]	$1,75 \cdot 10^3$
Molybdän	$1,04 \cdot 10^{-5}$	0,035	[21, 22]	$3,36 \cdot 10^3$
Natrium	$1,43 \cdot 10^{-2}$	60	[24]	$4,19 \cdot 10^3$
Ammonium	$2,56 \cdot 10^{-4}$	0,2	[24]	$7,81 \cdot 10^2$
Nickel	$7,63 \cdot 10^{-6}$	0,014	[21, 22]	$1,83 \cdot 10^3$
Nitrat	$1,24 \cdot 10^{-2}$	25	[24]	$2,01 \cdot 10^3$
Blei	$1,50 \cdot 10^{-5}$	0,007	[21, 22]	$4,66 \cdot 10^2$
Phosphat	$2,91 \cdot 10^{-4}$	0,15	[24]	$5,15 \cdot 10^2$
Rubidium	$2,11 \cdot 10^{-4}$	0,1		$4,73 \cdot 10^2$
Antimon	$1,10 \cdot 10^{-5}$	0,005	[21, 22, 23]	$4,54 \cdot 10^2$
Selen	$7,00 \cdot 10^{-7}$	0,001	[24]	$1,42 \cdot 10^3$
Siliciumdioxid	$1,02 \cdot 10^{-3}$	10	[42]	$9,80 \cdot 10^3$
Zinn	$2,38 \cdot 10^{-6}$	0,04	[43]	$1,68 \cdot 10^4$
Sulfat	$2,20 \cdot 10^{-2}$	100	[24]	$4,54 \cdot 10^3$
Tellur	$5,35 \cdot 10^{-7}$	0,0014	[48]	$2,61 \cdot 10^3$
Thorium	$2,38 \cdot 10^{-7}$	0,002		$8,40 \cdot 10^3$
Titan	$5,04 \cdot 10^{-7}$	0,083	[48]	$1,64 \cdot 10^5$
Thallium	$2,10 \cdot 10^{-7}$	0,0008	[21, 22]	$3,80 \cdot 10^3$
Uran	$1,13 \cdot 10^{-7}$	0,002	[49]	$1,76 \cdot 10^4$
Vanadium	$7,73 \cdot 10^{-5}$	0,004 <sup>*)</sup>	[21, 22]	$5,17 \cdot 10^2$
Zink	$6,23 \cdot 10^{-6}$	0,058	[21, 22]	$9,30 \cdot 10^3$

<sup>\*)</sup> Anwendung dieses Wertes bis zum 31.12.2007 ausgesetzt

Tab. 13: Vergleich von modellmäßig berechneten Konzentrationen organischer Schadstoffe im oberflächennahen Grundwasser mit Begrenzungen aus einschlägigen wasserrechtlichen Regelwerken.

Schadstoff	Referenzwert Abfälle/BFA [mg/l]	Begrenzung [mg/l]	Zitat	Quotient Begrenzung/ Referenzwert
Anionische Tenside	$1,31 \cdot 10^{-4}$	0,1	[24]	$7,63 \cdot 10^2$
Anionische und nichtionische Tenside	$2,74 \cdot 10^{-4}$	0,2	[41]	$7,29 \cdot 10^2$
BTX	$3,97 \cdot 10^{-4}$	0,01	[44]	$2,51 \cdot 10^1$
DOC	$4,71 \cdot 10^{-3}$	4,0	[24]	$8,49 \cdot 10^2$
EDTA	$1,11 \cdot 10^{-7}$	0,005	[24]	$4,50 \cdot 10^4$
Kohlenwasserstoffe	$2,55 \cdot 10^{-5}$	0,05	[24]	$1,96 \cdot 10^3$
Nichtionische Tenside	$1,43 \cdot 10^{-4}$	0,1	[24]	$6,99 \cdot 10^2$
NTA	$3,41 \cdot 10^{-4}$	0,01	[24]	$2,93 \cdot 10^1$
Suspendierte organische Stoffe	$9,04 \cdot 10^{-3}$	5,0	[24]	$5,53 \cdot 10^3$

Tab. 14 Vergleich von modellmäßig berechneten Referenzwerten Abfälle/BFA und Gesamtkonzentrationen anorganischer Schadstoffe im oberflächennahen Grundwasser mit schadstoff-spezifischen Begrenzungen.

Schadstoff	Referenzwert Abfälle/BFA [mg/l]	Schadstoffspezifische Gesamtkonzentration [mg/l]	Begrenzung [mg/l]
Silber	$4,83 \cdot 10^{-6}$	$6,06 \cdot 10^{-6}$	0,01
Aluminium	$2,52 \cdot 10^{-6}$	$2,91 \cdot 10^{-6}$	0,1
Arsen	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$1,23 \cdot 10^{-4}$	0,005
Bor	$4,75 \cdot 10^{-5}$	$5,61 \cdot 10^{-5}$	0,5
Barium	$3,96 \cdot 10^{-4}$	$7,68 \cdot 10^{-4}$	0,34
Beryllium	$5,74 \cdot 10^{-15}$	$7,59 \cdot 10^{-15}$	0,0001
Wismut	$1,20 \cdot 10^{-7}$	$3,20 \cdot 10^{-7}$	0,0035
Calcium	$2,32 \cdot 10^{-2}$	$2,61 \cdot 10^{-2}$	100
Cadmium	$2,31 \cdot 10^{-6}$	$5,25 \cdot 10^{-6}$	0,0005
Chlorid	$1,52 \cdot 10^{-3}$	$1,71 \cdot 10^{-3}$	100
Kobalt	$8,14 \cdot 10^{-5}$	$1,60 \cdot 10^{-4}$	0,008
Chrom (VI)	$9,18 \cdot 10^{-6}$	$1,71 \cdot 10^{-5}$	0,006
Chrom (gesamt)	$9,19 \cdot 10^{-6}$	$1,71 \cdot 10^{-5}$	0,03
Cäsium	$1,89 \cdot 10^{-5}$	$3,56 \cdot 10^{-5}$	0,1
Kupfer	$2,08 \cdot 10^{-7}$	$2,33 \cdot 10^{-7}$	0,014
Fluorid	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$2,17 \cdot 10^{-4}$	0,75
Eisen	$1,38 \cdot 10^{-5}$	$1,61 \cdot 10^{-5}$	0,2
Quecksilber	$3,46 \cdot 10^{-7}$	$6,27 \cdot 10^{-7}$	0,0002
Kalium	$3,73 \cdot 10^{-3}$	$9,05 \cdot 10^{-3}$	12
Lithium	$5,81 \cdot 10^{-5}$	$1,17 \cdot 10^{-4}$	0,1
Magnesium	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$1,45 \cdot 10^{-4}$	30

Tab. 14: Vergleich von modellmäßig berechneten Referenzwerten Abfälle/BFA und Gesamtkonzentrationen anorganischer Schadstoffe im oberflächennahen Grundwasser mit schadstoff-spezifischen Begrenzungen (Fortsetzung).

Schadstoff	Referenzwert Abfälle/BFA [mg/l]	Schadstoffspezifische Gesamtkonzentration [mg/l]	Begrenzung [mg/l]
Mangan	$1,17 \cdot 10^{-5}$	$2,01 \cdot 10^{-5}$	0,03
Molybdän	$1,04 \cdot 10^{-5}$	$2,92 \cdot 10^{-5}$	0,035
Natrium	$1,43 \cdot 10^{-2}$	$3,13 \cdot 10^{-2}$	60
Ammonium	$2,56 \cdot 10^{-4}$	$5,40 \cdot 10^{-4}$	0,2
Nickel	$7,63 \cdot 10^{-6}$	$8,64 \cdot 10^{-6}$	0,014
Nitrat	$1,24 \cdot 10^{-2}$	$1,35 \cdot 10^{-2}$	25
Blei	$1,50 \cdot 10^{-5}$	$1,69 \cdot 10^{-5}$	0,007
Phosphat	$2,91 \cdot 10^{-4}$	$5,09 \cdot 10^{-4}$	0,15
Rubidium	$2,11 \cdot 10^{-4}$	$4,23 \cdot 10^{-4}$	0,1
Antimon	$1,10 \cdot 10^{-5}$	$1,92 \cdot 10^{-5}$	0,005
Selen	$7,00 \cdot 10^{-7}$	$8,34 \cdot 10^{-7}$	0,001
Siliciumdioxid	$1,02 \cdot 10^{-3}$	$1,18 \cdot 10^{-3}$	10
Zinn	$2,38 \cdot 10^{-6}$	$2,80 \cdot 10^{-6}$	0,04
Sulfat	$2,20 \cdot 10^{-2}$	$2,54 \cdot 10^{-2}$	100
Tellur	$5,35 \cdot 10^{-7}$	$5,99 \cdot 10^{-7}$	0,0014
Thorium	$2,38 \cdot 10^{-7}$	$2,80 \cdot 10^{-7}$	0,002
Titan	$5,04 \cdot 10^{-7}$	$6,34 \cdot 10^{-7}$	0,083
Thallium	$2,10 \cdot 10^{-7}$	$4,52 \cdot 10^{-7}$	0,0008
Uran	$1,13 \cdot 10^{-7}$	$1,46 \cdot 10^{-7}$	0,002
Vanadium	$7,73 \cdot 10^{-5}$	$1,42 \cdot 10^{-4}$	0,004 <sup>*)</sup>
Zink	$6,23 \cdot 10^{-6}$	$8,18 \cdot 10^{-6}$	0,058

<sup>\*)</sup> Anwendung dieses Wertes bis zum 31.12.2007 ausgesetzt



Tab. 15: Vergleich von modellmäßig berechneten Referenzwerten Abfälle/BFA und Gesamtkonzentrationen organischer Stoffe im oberflächennahen Grundwasser mit schadstoffspezifischen Begrenzungen.

Schadstoff	Referenzwert Abfälle/BFA [mg/l]	Schadstoffspezifische Gesamtkonzentration [mg/l]	Begrenzung [mg/l]
Anionische Tenside	$1,31 \cdot 10^{-4}$	$1,82 \cdot 10^{-4}$	0,1
Anionische und nichtionische Tenside	$2,74 \cdot 10^{-4}$	$3,82 \cdot 10^{-4}$	0,2
BTX	$3,97 \cdot 10^{-4}$	$4,07 \cdot 10^{-4}$	0,01
DOC	$4,71 \cdot 10^{-3}$	$6,91 \cdot 10^{-3}$	4,0
EDTA	$1,11 \cdot 10^{-7}$	$1,31 \cdot 10^{-7}$	0,005
Kohlenwasserstoffe	$2,55 \cdot 10^{-5}$	$6,12 \cdot 10^{-5}$	0,05
Nichtionische Tenside	$1,43 \cdot 10^{-4}$	$1,99 \cdot 10^{-5}$	0,1
NTA	$3,41 \cdot 10^{-4}$	$3,48 \cdot 10^{-4}$	0,01
Suspendierte organische Stoffe	$9,04 \cdot 10^{-3}$	$1,55 \cdot 10^{-2}$	5,0

Tab. 16: Vergleich von modellmäßig berechneten Konzentrationen anorganischer Schadstoffe mit gemessenen natürlichen Grundwasserbelastungen in der Allertalzone.

Schadstoff	Referenzwert Abfälle/BFA [mg/l]	Bandbreite natürlicher Grundwasserbelastung [mg/l]
Silber	$4,83 \cdot 10^{-6}$	< 0,01
Aluminium	$2,52 \cdot 10^{-6}$	< 30 - 140 (7.100) <sup>*)</sup>
Arsen	$1,10 \cdot 10^{-4}$	
Bor	$4,75 \cdot 10^{-5}$	< 1,0 - 1.160
Barium	$3,96 \cdot 10^{-4}$	< 10 - 890
Beryllium	$5,74 \cdot 10^{-15}$	< 0,01 - 4,5
Wismut	$1,20 \cdot 10^{-7}$	
Calcium	$2,32 \cdot 10^{-2}$	< 32,4 - 2.100
Cadmium	$2,31 \cdot 10^{-6}$	< 0,1 - 10
Chlorid	$1,52 \cdot 10^{-3}$	8,1 - 23.300
Kobalt	$8,14 \cdot 10^{-5}$	< 0,2 - 15
Chrom (VI)	$9,18 \cdot 10^{-6}$	
Chrom (gesamt)	$9,19 \cdot 10^{-6}$	< 0,2 - 471
Cäsium	$1,89 \cdot 10^{-5}$	
Kupfer	$2,08 \cdot 10^{-7}$	< 0,3 - 53
Fluorid	$1,77 \cdot 10^{-4}$	< 0,1 - 0,8
Eisen	$1,38 \cdot 10^{-5}$	< 0,01 - 42
Quecksilber	$3,46 \cdot 10^{-7}$	
Kalium	$3,73 \cdot 10^{-3}$	1,0 - 170
Lithium	$5,81 \cdot 10^{-5}$	< 3 - 580
Magnesium	$1,00 \cdot 10^{-4}$	5,4 - 1.700

<sup>\*)</sup> in Klammern: maximal gemessener Einzelwert

Tab. 16: Vergleich von modellmäßig berechneten Konzentrationen anorganischer Schadstoffe mit gemessenen natürlichen Grundwasserbelastungen in der Allertalzone (Fortsetzung).

Schadstoff	Referenzwert Abfälle/BFA [mg/l]	Bandbreite natürlicher Grundwasserbelastung [mg/l]
Mangan	$1,71 \cdot 10^{-5}$	< 0,001 - 2,99
Molybdän	$1,04 \cdot 10^{-5}$	
Natrium	$1,43 \cdot 10^{-2}$	6,5 - 12.900
Ammonium	$2,56 \cdot 10^{-4}$	< 0,01 - 3,2
Nickel	$7,63 \cdot 10^{-6}$	< 0,3 - 247
Nitrat	$1,24 \cdot 10^{-2}$	< 0,05 - 190
Blei	$1,50 \cdot 10^{-5}$	< 3 - 40 (130) <sup>*)</sup>
Phosphat	$2,91 \cdot 10^{-4}$	0,0098 - 0,47
Rubidium	$2,11 \cdot 10^{-4}$	
Antimon	$1,10 \cdot 10^{-5}$	
Selen	$7,00 \cdot 10^{-7}$	
Siliciumdioxid	$1,02 \cdot 10^{-3}$	0,2 - 34
Zinn	$2,38 \cdot 10^{-6}$	
Sulfat	$2,20 \cdot 10^{-2}$	25,7 - 3.740
Tellur	$5,35 \cdot 10^{-7}$	
Thorium	$2,38 \cdot 10^{-7}$	
Titan	$5,04 \cdot 10^{-7}$	
Thallium	$2,10 \cdot 10^{-7}$	
Uran	$1,13 \cdot 10^{-7}$	
Vanadium	$7,73 \cdot 10^{-5}$	0,2 - 20
Zink	$6,23 \cdot 10^{-6}$	1,0 - 155

<sup>\*)</sup> in Klammern: maximal gemessener Einzelwert

Tab. 17: Vergleich von modellmäßig berechneten Konzentrationen organischer Schadstoffe mit gemessenen natürlichen Grundwasserbelastungen in der Allertalzone.

Schadstoff	Referenzwert Abfälle/BFA [mg/l]	Bandbreite natürlicher Grundwasserbelastung [mg/l]
Anionische Tenside	$1,31 \cdot 10^{-4}$	< 0,5 - 25
Anionische und nichtionische Tenside	$2,74 \cdot 10^{-4}$	
BTX	$3,97 \cdot 10^{-4}$	
DOC	$4,71 \cdot 10^{-3}$	
EDTA	$1,11 \cdot 10^{-7}$	
Kohlenwasserstoffe	$2,55 \cdot 10^{-5}$	
Nichtionische Tenside	$1,43 \cdot 10^{-4}$	
NTA	$3,41 \cdot 10^{-4}$	
Suspendierte organische Stoffe	$9,04 \cdot 10^{-3}$	

# ANHANG

Anlage zur Grundwasserverordnung vom 18. März 1997.

## Liste I der Stofffamilien und Stoffgruppen

Die Liste I umfasst die einzelnen Stoffe der nachstehend aufgeführten Stofffamilien und -gruppen mit Ausnahme der Stoffe, die aufgrund des geringen Toxizitäts-, Langlebigkeits- oder Bioakkumulationsrisikos als ungeeignet für die Liste I angesehen werden.

Stoffe, die im Hinblick auf Toxizität, Langlebigkeit oder Bioakkumulation für die Liste II geeignet sind, sind als Stoffe der Liste II zu behandeln.

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

### Liste II der Stofffamilien und Stoffgruppen

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

1. Folgende Metalloide und Metalle und ihre Verbindungen:

1.1	Zink	1.8	Antimon	1.15	Uran
1.2	Kupfer	1.9	Molybdän	1.16	Vanadium
1.3	Nickel	1.10	Titan	1.17	Kobalt
1.4	Chrom	1.11	Zinn	1.18	Thallium
1.5	Blei	1.12	Barium	1.19	Tellur
1.6	Selen	1.13	Beryllium	1.20	Silber
1.7	Arsen	1.14	Bor		

2. Biozide und davon abgeleitete Verbindungen, die nicht in der Liste I enthalten sind
3. Stoffe, die eine für den Geschmack oder den Gebrauch des Grundwassers abträgliche Wirkung haben, sowie Verbindungen, die im Grundwasser zur Bildung solcher Stoffe führen und es für den menschlichen Gebrauch ungeeignet machen können
4. Giftige oder langlebige organische Siliziumverbindungen und Stoffe, die im Wasser zur Bildung solcher Verbindungen führen können, mit Ausnahme derjenigen, die biologisch unschädlich sind oder sich im Wasser rasch in biologisch unschädliche Stoffe umwandeln
5. Anorganische Phosphorverbindungen und reiner Phosphor
6. Fluoride
7. Ammoniak und Nitrite